



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

Διπλωματική Εργασία

**«Διερεύνηση της επιρροής της χρήσης της Λωρίδας Έκτακτης Ανάγκης σε αυτοκινητόδρομο με χρήση μικροσκοπικής προσομοίωσης»**

**Ψαρρού Καλακώνη Άννα Μαριάμ**

*Επίβλεψη: Σπυροπούλου Ιωάννα, Επίκουρη Καθηγήτρια ΕΜΠ*

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ  
ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ**



**Αθήνα, Μάρτιος 2019**





**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS**  
**SCHOOL OF RURAL & SURVEYING ENGINEERING**  
DEP. OF INFRASTRUCTURE AND RURAL DEVELOPMENT

Diploma Thesis

**«Investigation of the impact of the emergency lane use on a freeway through  
microscopic simulation»**

**Psarrou Kalakoni Anna Mariam**

*Supervisor: Spyropoulou Ioanna, Assistant Professor NTUA*

**LABORATORY OF  
TRANSPORTATION ENGINEERING**



**Athens, March 2019**



## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κυρία Ιωάννα Σπυροπούλου, Επίκουρη Καθηγήτρια της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π., για τη στήριξη και την καθοδήγησή της καθ'όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Γεώργιο Κουσκουλή, Υποψήφιο Διδάκτωρ της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π., για τη βοήθειά του σε θέματα προγραμματισμού. Τέλος, ευχαριστώ θερμά την οικογένεια μου για τη στήριξη που μου προσέφερε σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Άννα Μαριάμ Ψαρρού Καλακώνη  
Αθήνα, Μάρτιος 2019



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της χρήσης της Λωρίδας Έκτακτης Ανάγκης (ΛΕΑ) σε ένα οδικό δίκτυο με τη χρήση μικροσκοπικής προσομοίωσης. Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού Aimsun. Το οδικό δίκτυο στη συγκεκριμένη περίπτωση αποτέλεσε ένα τμήμα του αυτοκινητοδρόμου της Ολυμπίας Οδού με κατεύθυνση προς Αθήνα, το οποίο διέθετε τρεις λωρίδες και μία ΛΕΑ, η οποία σε ορισμένα σημεία διακόπτεται. Η διερεύνηση της επίδρασης του φαινομένου στη λειτουργία του οδικού δικτύου πραγματοποιήθηκε με τη μεταβολή των τιμών ορισμένων παραμέτρων επιρροής και σύγκριση των αποτελεσμάτων των διαφορετικών περιπτώσεων. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας για τη δημιουργία των σεναρίων που εξετάστηκαν, είναι ο κυκλοφοριακός φόρτος, το ποσοστό των οχημάτων που εισέρχονται στη ΛΕΑ και μία παράμετρος του προγράμματος που σχετίζεται με την εκτέλεση ενός ελιγμού αλλαγής λωρίδας (imprudent lane-changing). Η ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης όλων των σεναρίων πραγματοποιήθηκε με βάση τα μεγέθη της μέσης καθυστέρησης (delay), της μέσης ταχύτητας (speed) και του κυκλοφοριακού φόρτου (flow). Από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, παρατηρήθηκε ότι η χρήση της Λωρίδας Έκτακτης Ανάγκης από ένα ποσοστό οχημάτων της τάξης του 10% βελτιώνει τις συνθήκες στο δίκτυο ενώ η περαιτέρω αύξηση του ποσοστού δυσχεραίνει την κατάσταση προκαλώντας αύξηση της μέσης καθυστέρησης και μείωση της ταχύτητας. Σχετικά με την παράμετρο αλλαγής λωρίδας, παρατηρήθηκε ότι η επίδραση της στο δίκτυο δεν ήταν ιδιαίτερα σημαντική. Για τις λωρίδες κίνησης, παρατηρήθηκε ότι μεγαλύτερη επίδραση δέχονται η δεξιά λωρίδα και η λωρίδα έκτακτης ανάγκης.

*Λέξεις κλειδιά: Λωρίδα Έκτακτης Ανάγκης, αυτοκινητόδρομοι, μικροσκοπική προσομοίωση, AIMSUN*





## **ABSTRACT**

The subject of this diploma thesis is the investigation of the emergency lane use through microscopic simulation. The simulations were conducted with the use of the Aimsun software. The simulated road network involved a part of the Olympia Odos freeway with a 3-lane carriageway and an emergency lane. In order to investigate the impact of the emergency lane use on the operation of the network, different scenarios were created and simulated. The scenarios were designed based on the different values of certain influence parameters: the traffic volume, the percentage of vehicles using the emergency lane and the “imprudent lane-changing” parameter. The latter is a parameter of Aimsun concerning the behaviour of vehicles when changing lanes. The evaluation of the simulation results was conducted based on three traffic measures: mean delay, mean speed and mean flow. Results indicated that traffic conditions were improved when the percentage of offenders was around 10%, while a further increase of the percentage increased the delay and reduced the speed of the network. The effect of the “imprudent lane-changing” parameter was not proved to be significant. Analysing the impact on each lane separately, it was observed that the right lane and the emergency lane were affected the most.

*Keywords: emergency lane, freeway, microscopic simulation, AIMSUN*



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1	Αντικείμενο και Σκοπός της Εργασίας.....	1
1.2	Δομή της Εργασίας .....	2
2.	ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ .....	5
2.1	Βασικά Στοιχεία Κυκλοφοριακής Τεχνικής .....	5
2.1.1	Χαρακτηριστικά Μεγέθη Κυκλοφοριακής Ροής .....	5
2.1.2	Μεγέθη για την αποτύπωση των κυκλοφοριακών συνθηκών .....	8
2.1.3	Λειτουργία Αυτοκινητοδρόμων .....	10
2.2	Κυκλοφοριακή Προσομοίωση.....	23
2.2.1	Πρότυπα προσομοίωσης.....	23
2.2.2	Προγράμματα προσομοίωσης.....	31
2.2.3	Aimsun.....	35
2.3	Η χρήση της ΛΕΑ στην Ελλάδα και το Εξωτερικό .....	41
3.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	47
3.1	Το Δίκτυο .....	47
3.1.1	Γενικά Στοιχεία Ολυμπίας Οδού .....	47
3.1.2	Οδικό τμήμα μελέτης.....	48
3.1.3	Στοιχεία Δικτύου στο Aimsun .....	51
3.1.4	Σχεδιασμός Δικτύου .....	53
3.2	Τα Σενάρια .....	63
3.2.1	Παράμετροι Επιρροής.....	63
3.2.2	Επιλογή Τιμών των Παραμέτρων Επιρροής .....	65
3.2.3	Τελικά Σενάρια Προσομοίωσης .....	76
3.2.4	Δημιουργία Σεναρίων στο Aimsun .....	78
3.3	Προσομοιώσεις .....	85
3.3.1	Εκτέλεση Προσομοιώσεων .....	85

3.3.2	Η Βάση Δεδομένων .....	87
3.3.3	Εξαγωγή Αποτελεσμάτων .....	89
4.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	93
4.1	Ανάλυση σε Επίπεδο Οδικού Δικτύου .....	93
4.2	Ανάλυση σε Επίπεδο Λωρίδας Κίνησης .....	106
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	125
5.1	Συμπεράσματα για το Συνολικό Δίκτυο .....	125
5.2	Συμπεράσματα για τις Λωρίδες Κίνησης.....	127
5.3	Προτάσεις για διερεύνηση .....	129
	ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	131

## Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2.1: Τιμές συντελεστή $f_{LW}$ σε σχέση με το πλάτος λωρίδας .....	16
Πίνακας 2.2: Τιμές συντελεστή $f_{LC}$ σε σχέση με την απόσταση των πλευρικών εμποδίων και τον αριθμό των λωρίδων ανά κατεύθυνση. ....	16
Πίνακας 2.3: Αναλυτικές σχέσεις ταχύτητας – φόρτου .....	18
Πίνακας 2.4: Τιμές ΜΕΑ για τα βαρέα οχήματα στην περίπτωση γενικού αναγλύφου .....	19
Πίνακας 2.5: Τιμές ΜΕΑ για βαρέα οχήματα σε συγκεκριμένες ανωφέρειες .....	21
Πίνακας 2.6: Τιμές ΜΕΑ για βαρέα οχήματα σε συγκεκριμένες κατωφέρειες .....	22
Πίνακας 2.7: Στάθμη εξυπηρέτησης αυτοκινητοδρόμου με βάση την τιμή της πυκνότητας .....	23
Πίνακας 3.1: Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά Ολυμπίας Οδού. ....	48
Πίνακας 3.2: Μετρήσεις παραβατικότητας Λ.Ε.Α .....	50
Πίνακας 3.3: Τιμή και μεταβολή μέσης καθυστέρησης δικτύου σε υψηλό φόρτο για διαφορετικές τιμές ποσοστού δυνητικών παραβατών. ....	70
Πίνακας 3.4: Αποτελέσματα προσομοιώσεων σε δίκτυο χωρίς εισόδους και εξόδους για βαθμό κορεσμού $v/c=1$ και διαφορετικές τιμές μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας. ....	71
Πίνακας 3.5: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου αλλαγής λωρίδας σε χαμηλό, μεσαίο και υψηλό φόρτο. ....	72
Πίνακας 3.6: Τελικά σενάρια φόρτισης του δικτύου. ....	76
Πίνακας 3.7: Τελικά σενάρια για το ποσοστό δυνητικών παραβατών. ....	77
Πίνακας 3.8: Τελικά σενάρια παραμέτρου «imprudent lane changing». ....	78
Πίνακας 3.9: Γενική μορφή πίνακα MILANE. ....	90
Πίνακας 3.10: Γενική μορφή πίνακα MISYS. ....	91
Πίνακας 4.1: Μεταβολή μέσης ταχύτητας οδικού δικτύου συναρτήσει της παραμέτρου αλλαγής λωρίδας για διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου και ποσοστό δυνητικών παραβατών 100%. ....	100
Πίνακας 4.2: Μεταβολή μέσης καθυστέρησης οδικού δικτύου συναρτήσει του βαθμού κορεσμού για διαφορετικά ποσοστά δυνητικών παραβατών. ....	101

<i>Πίνακας 4.3: Μεταβολή μέσης ταχύτητας οδικού δικτύου συναρτήσει του βαθμού κορεσμού για διαφορετικά ποσοστά δυνητικών παραβατών. ....</i>	<i>102</i>
<i>Πίνακας 4.4: Μεταβολή μέσης καθυστέρησης οδικού δικτύου συναρτήσει του ποσοστού παραβατών για διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου. ....</i>	<i>104</i>
<i>Πίνακας 4.5: Μεταβολή μέσης ταχύτητας οδικού δικτύου συναρτήσει του ποσοστού παραβατών για διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου. ....</i>	<i>104</i>
<i>Πίνακας 4.6: Μεταβολή μέσης ταχύτητας λωρίδας 1 (αριστερή λωρίδα) συναρτήσει του βαθμού κορεσμού για διαφορετικά ποσοστά δυνητικών παραβατών. ....</i>	<i>110</i>
<i>Πίνακας 4.7: Μεταβολή μέσης ταχύτητας λωρίδας 1 (αριστερή λωρίδα) συναρτήσει του ποσοστού παραβατών για διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου. ....</i>	<i>110</i>
<i>Πίνακας 4.8: Μεταβολή μέσης ταχύτητας λωρίδας 2 συναρτήσει του βαθμού κορεσμού για διαφορετικά ποσοστά δυνητικών παραβατών. ....</i>	<i>111</i>
<i>Πίνακας 4.9: Μεταβολή μέσης ταχύτητας λωρίδας 2 συναρτήσει του ποσοστού παραβατών για διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου. ....</i>	<i>112</i>
<i>Πίνακας 4.10: Μεταβολή μέσης ταχύτητας λωρίδας 3 συναρτήσει του βαθμού κορεσμού για διαφορετικά ποσοστά δυνητικών παραβατών. ....</i>	<i>113</i>
<i>Πίνακας 4.11: Μεταβολή μέσης ταχύτητας λωρίδας 3 συναρτήσει του ποσοστού παραβατών για διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου. ....</i>	<i>114</i>
<i>Πίνακας 4.12: Μεταβολή μέσης ταχύτητας λωρίδας 4 (ΛΕΑ) συναρτήσει του βαθμού κορεσμού για διαφορετικά ποσοστά δυνητικών παραβατών. ....</i>	<i>115</i>
<i>Πίνακας 4.13: Μεταβολή μέσης ταχύτητας λωρίδας 4 (ΛΕΑ) συναρτήσει του ποσοστού παραβατών για διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου. ....</i>	<i>115</i>

## Ευρετήριο Εικόνων

<i>Εικόνα 2.1: Απεικόνιση σταθμών εξυπηρέτησης σε αυτοκινητόδρομο.</i>	9
<i>Εικόνα 2.2: Ελληνικό δίκτυο αυτοκινητοδρόμων.</i>	12
<i>Εικόνα 2.3: Καμπύλες ταχύτητας – φόρτου για διαφορετικές τιμές TEP</i>	17
<i>Εικόνα 2.4: Σχηματική αναπαράσταση των ζωνών που ορίζονται στο μοντέλο αλλαγής λωρίδας του Aimsun.</i>	38
<i>Εικόνα 2.5: Σχηματική αναπαράσταση των στοιχείων του αλγόριθμου για την αποδοχή διάκενου σε κόμβους προτεραιότητας.</i>	40
<i>Εικόνα 3.1: Παραδείγματα κόμβων τύπου “join”.</i>	52
<i>Εικόνα 3.2: Αποκατάσταση της κλίμακας της εικόνας που εισάγεται στο περιβάλλον του Aimsun.</i>	54
<i>Εικόνα 3.3: Επιλογή τύπου οδικού τμήματος για τμήμα αυτοκινητοδρόμου.</i>	55
<i>Εικόνα 3.4: Καθορισμός μέγιστης ταχύτητας για οδικό τμήμα αυτοκινητοδρόμου.</i>	55
<i>Εικόνα 3.5: Καθορισμός πλάτους λωρίδας για οδικό τμήμα αυτοκινητοδρόμου.</i>	56
<i>Εικόνα 3.6: Επιλογή αριθμού λωρίδων για οδικό τμήμα αυτοκινητοδρόμου με τρεις λωρίδες και μια ΛΕΑ</i>	56
<i>Εικόνα 3.7: Καθορισμός κυκλοφοριακής ικανότητας ανά λωρίδα</i>	57
<i>Εικόνα 3.8: Προσδιορισμός κυκλοφοριακής ικανότητας τριών λωρίδων.</i>	58
<i>Εικόνα 3.9: Σύνολο βασικών χαρακτηριστικών οδικού τμήματος αυτοκινητοδρόμου.</i>	59
<i>Εικόνα 3.10: Αντιστοίχιση του τύπου οχήματος «illegal car» με την κλάση «Illegal class».</i>	60
<i>Εικόνα 3.11: Ορισμός του τύπου λωρίδας «LEA» ως αποκλειστική λωρίδα για την κλάση οχημάτων «Illegal class».</i>	61
<i>Εικόνα 3.12: Ορισμός της Λωρίδας Έκτακτης Ανάγκης (ΛΕΑ) σε οδικό τμήμα.</i>	62
<i>Εικόνα 3.13: Σύνδεση των επιμέρους οδικών τμημάτων με τη δημιουργία κόμβου τύπου «join».</i>	63
<i>Εικόνα 3.14: Ορισμός παραμέτρου αλλαγής λωρίδας</i>	80
<i>Εικόνα 3.15: Δημιουργία κυκλοφοριακής κατάστασης (Traffic State).</i>	81
<i>Εικόνα 3.16: Δημιουργία κυκλοφοριακής ζήτησης (Traffic Demand).</i>	82

<i>Εικόνα 3.17: Τροποποίηση ποσοστού φόρτου για συγκεκριμένο τύπο οχήματος.....</i>	<i>82</i>
<i>Εικόνα 3.18: Φάκελος δυναμικού σεναρίου (Dynamic Scenario).....</i>	<i>83</i>
<i>Εικόνα 3.19: Δημιουργία πειράματος (Experiment).....</i>	<i>84</i>
<i>Εικόνα 3.20: Καθορισμός χρόνου προθέρμανσης πειράματος.....</i>	<i>84</i>
<i>Εικόνα 3.21: Δημιουργία αναπαραγωγών και μέσου όρου πειράματος. ....</i>	<i>85</i>
<i>Εικόνα 3.22: Εκτέλεση προσομοιώσεων.....</i>	<i>86</i>
<i>Εικόνα 3.23: Πληροφορίες αναπαραγωγής (Replication).....</i>	<i>86</i>
<i>Εικόνα 3.24: Υπολογισμός μέσου όρου αναπαραγωγών (Average). ....</i>	<i>87</i>
<i>Εικόνα 3.25: Καθορισμός χρονικού διαστήματος συλλογής στατιστικών δεδομένων.....</i>	<i>89</i>



## Ευρετήριο Διαγραμμάτων

<i>Διάγραμμα 3.1: Μέση καθυστέρηση οδικού δικτύου συναρτήσει του βαθμού κορεσμού για ποσοστό δυνητικών παραβατών 0%. .....</i>	<i>67</i>
<i>Διάγραμμα 3.2: Μέση ταχύτητα οδικού δικτύου συναρτήσει του βαθμού κορεσμού για ποσοστό δυνητικών παραβατών 0%. .....</i>	<i>68</i>
<i>Διάγραμμα 3.3: Μέση καθυστέρηση οδικού δικτύου συναρτήσει του βαθμού κορεσμού για ποσοστό δυνητικών παραβατών 100%. .....</i>	<i>68</i>
<i>Διάγραμμα 3.4: Μέση ταχύτητα οδικού δικτύου συναρτήσει του βαθμού κορεσμού για ποσοστό δυνητικών παραβατών 100%. .....</i>	<i>69</i>
<i>Διάγραμμα 3.5: Μέση καθυστέρηση οδικού δικτύου για χαμηλό φόρτο και ποσοστό δυνητικών παραβατών 100% συναρτήσει του αριθμού αναπαραγωγών. ....</i>	<i>74</i>
<i>Διάγραμμα 3.6: Μέση ταχύτητα οδικού δικτύου για χαμηλό φόρτο και ποσοστό δυνητικών παραβατών 100% συναρτήσει του αριθμού αναπαραγωγών. ....</i>	<i>74</i>
<i>Διάγραμμα 3.7: Μέση καθυστέρηση οδικού δικτύου για υψηλό φόρτο και ποσοστό δυνητικών παραβατών 100% συναρτήσει του αριθμού αναπαραγωγών. ....</i>	<i>75</i>
<i>Διάγραμμα 4.1: Μέση καθυστέρηση οδικού δικτύου συναρτήσει του ποσοστού δυνητικών παραβατών για διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου (τιμή παραμέτρου αλλαγής λωρίδας 0%). .....</i>	<i>94</i>
<i>Διάγραμμα 4.2: Μέση ταχύτητα οδικού δικτύου συναρτήσει του ποσοστού δυνητικών παραβατών για διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου (τιμή παραμέτρου αλλαγής λωρίδας 0%). .....</i>	<i>95</i>
<i>Διάγραμμα 4.3: Μέση ταχύτητα οδικού δικτύου με συνεχή ΛΕΑ συναρτήσει του ποσοστού δυνητικών παραβατών για βαθμό κορεσμού 1. ....</i>	<i>96</i>
<i>Διάγραμμα 4.4: Μέση καθυστέρηση οδικού δικτύου συναρτήσει του ποσοστού δυνητικών παραβατών για διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου (τιμή παραμέτρου αλλαγής λωρίδας 50%). .....</i>	<i>97</i>
<i>Διάγραμμα 4.5: Μέση ταχύτητα οδικού δικτύου συναρτήσει του ποσοστού δυνητικών παραβατών για διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου (τιμή παραμέτρου αλλαγής λωρίδας 50%). .....</i>	<i>97</i>
<i>Διάγραμμα 4.6: Μέση καθυστέρηση οδικού δικτύου συναρτήσει του ποσοστού δυνητικών παραβατών για διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου (τιμή παραμέτρου αλλαγής λωρίδας 100%). .....</i>	<i>98</i>

Διάγραμμα 4.7: Μέση ταχύτητα οδικού δικτύου συναρτήσει του ποσοστού δυνητικών παραβατών για διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου (τιμή παραμέτρου αλλαγής λωρίδας 100%).	98
Διάγραμμα 4.8: Μέση ταχύτητα οδικού δικτύου συναρτήσει του βαθμού κορεσμού και του ποσοστού δυνητικών παραβατών.	105
Διάγραμμα 4.9: Μέση ταχύτητα λωρίδας 1 (αριστερή λωρίδα) συναρτήσει του ποσοστού δυνητικών παραβατών για κάθε επίπεδο φόρτισης του δικτύου.	106
Διάγραμμα 4.10: Μέση ταχύτητα λωρίδας 2 συναρτήσει του ποσοστού δυνητικών παραβατών για κάθε επίπεδο φόρτισης του δικτύου.	107
Διάγραμμα 4.11: Μέση ταχύτητα λωρίδας 3 συναρτήσει του ποσοστού δυνητικών παραβατών για κάθε επίπεδο φόρτισης του δικτύου.	108
Διάγραμμα 4.12: Μέση ταχύτητα λωρίδας 4 (ΛΕΑ) συναρτήσει του ποσοστού δυνητικών παραβατών για κάθε επίπεδο φόρτισης του δικτύου.	109
Διάγραμμα 4.13: Μέση ταχύτητα στη λωρίδα 1 (αριστερή λωρίδα) συναρτήσει του βαθμού κορεσμού και του ποσοστού δυνητικών παραβατών.	117
Διάγραμμα 4.14: Μέση ταχύτητα στη λωρίδα 2 συναρτήσει του βαθμού κορεσμού και του ποσοστού δυνητικών παραβατών.	117
Διάγραμμα 4.15: Μέση ταχύτητα στη λωρίδα 3 (δεξιά λωρίδα) συναρτήσει του βαθμού κορεσμού και του ποσοστού δυνητικών παραβατών.	118
Διάγραμμα 4.16: Μέση ταχύτητα στη λωρίδα 4 (ΛΕΑ) συναρτήσει του βαθμού κορεσμού και του ποσοστού δυνητικών παραβατών.	118
Διάγραμμα 4.17: Κυκλοφοριακός φόρτος ανά λωρίδα κίνησης συναρτήσει του ποσοστού παραβατών (βαθμός κορεσμού 0,5).	119
Διάγραμμα 4.18: Κυκλοφοριακός φόρτος ανά λωρίδα κίνησης συναρτήσει του ποσοστού παραβατών (βαθμός κορεσμού 0,6).	120
Διάγραμμα 4.19: Κυκλοφοριακός φόρτος ανά λωρίδα κίνησης συναρτήσει του ποσοστού παραβατών (βαθμός κορεσμού 0,7).	120
Διάγραμμα 4.20: Κυκλοφοριακός φόρτος ανά λωρίδα κίνησης συναρτήσει του ποσοστού παραβατών (βαθμός κορεσμού 0,8).	121
Διάγραμμα 4.21: Κυκλοφοριακός φόρτος ανά λωρίδα κίνησης συναρτήσει του ποσοστού παραβατών (βαθμός κορεσμού 0,9).	121
Διάγραμμα 4.22: Κυκλοφοριακός φόρτος ανά λωρίδα κίνησης συναρτήσει του ποσοστού παραβατών (βαθμός κορεσμού 1).	122

Διάγραμμα 4.23: Μέση ταχύτητα ανά λωρίδα κίνησης συναρτήσει του ποσοστού παραβατών (βαθμός κορεσμού 0,5). ..... 123

Διάγραμμα 4.24: Μέση ταχύτητα ανά λωρίδα κίνησης συναρτήσει του ποσοστού παραβατών (βαθμός κορεσμού 1). ..... 123



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται το αντικείμενο και ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς επίσης και οι λόγοι για τους οποίους το φαινόμενο της οδήγησης στη Λωρίδα Έκτακτης Ανάγκης παρουσιάζει ένα ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον. Κατόπιν, ακολουθεί μια περιγραφή της δομής της εργασίας μέσω μιας συνοπτικής παρουσίασης των περιεχομένων των λοιπών κεφαλαίων.

### 1.1 Αντικείμενο και Σκοπός της Εργασίας

Αντικείμενο της συγκεκριμένης εργασίας αποτέλεσε η διερεύνηση του φαινομένου της οδήγησης στη Λωρίδα Έκτακτης Ανάγκης (ΛΕΑ) και η επιρροή της συγκεκριμένης πρακτικής στη λειτουργία ενός δικτύου. Το φαινόμενο αυτό είναι ένα μάλλον σύνθητες φαινόμενο σε αρκετούς αυτοκινητοδρόμους στην Ελλάδα, παρά το γεγονός ότι συνιστά παράβαση αντικοινωνικής οδικής συμπεριφοράς και επισύρει βαρύτατα πρόστιμα και ποινές.

Σύμφωνα με το άρθρο 29 του Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας (ΚΟΚ), η ΛΕΑ είναι η άκρα δεξιά λωρίδα, η οποία διαχωρίζεται με συνεχή διαγράμμιση αντί διακεκομμένης και προορίζεται για την κίνηση οχημάτων έκτακτης ανάγκης (ασθενοφόρα, πυροσβεστικά και περιπολικά οχήματα) καθώς επίσης και οχημάτων λειτουργίας και συντήρησης των αρμόδιων κρατικών υπηρεσιών ή των εταιρειών που, κατά παραχώρηση από το Δημόσιο, είναι αρμόδιες για τον αυτοκινητόδρομο ή την οδό ταχείας κυκλοφορίας. Η χρήση της ΛΕΑ και η στάση σε αυτή επιτρέπεται, επίσης, σε περιπτώσεις βλάβης και αναγκαστικής ακινητοποίησης κάποιου οχήματος. Σε κάθε άλλη περίπτωση, η οδήγηση στη ΛΕΑ τιμωρείται με πρόστιμο 200 ευρώ, επιτόπου αφαίρεση της άδειας οδήγησης και της άδειας κυκλοφορίας για 60 ημέρες και την επιβολή 9 βαθμών ποινής σύμφωνα με το Σύστημα Ελέγχου Συμπεριφοράς Οδηγών (ΣΕΣΟ).

Ωστόσο, αρκετά συχνά και ιδιαίτερα σε περιπτώσεις αυξημένου κυκλοφοριακού φόρτου, σημειώνονται παραβάσεις της κυκλοφορίας στη ΛΕΑ που αφορούν είτε σε στάση είτε σε οδήγηση σε αυτή, καθώς επίσης και στη χρήση της για προσπέραση. Στοιχεία από παλαιότερη έρευνα της Ολυμπίας Οδού το 2015, η οποία διεξήχθη ημέρα Κυριακή του Αυγούστου μεταξύ των ωρών 7 το απόγευμα και 10 το βράδυ, κατά τις οποίες παρατηρήθηκε

αιχμή λόγω επιστροφής των εκδρομέων, έδειξε ότι το ποσοστό των παραβάσεων ανέρχονταν στο 17%.

Η οδήγηση στη ΛΕΑ, εκτός από τις προφανείς επιπτώσεις που έχει στην ασφάλεια, λόγω της παρακώλυσης της κίνησης των οχημάτων έκτακτης ανάγκης, επηρεάζει και τη λειτουργία ενός δικτύου γενικότερα. Αρκετές έρευνες στο εξωτερικό έχουν ασχοληθεί με το συγκεκριμένο θέμα με σκοπό να διαπιστώσουν κατά πόσο η χρήση της ΛΕΑ ως επιπλέον λωρίδας επηρεάζει αρνητικά ή θετικά τη λειτουργία ενός δικτύου και τις προϋποθέσεις υπό τις οποίες μπορεί να συμβάλει στη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι συγκεκριμένες έρευνες δεν αφορούν στην κατά παράβαση οδήγηση στη ΛΕΑ αλλά στη νόμιμη χρήση της ως μέτρο αποσυμφόρησης.

Η χρήση της ΛΕΑ δεν έχει πάντοτε θετικές επιπτώσεις στη λειτουργία ενός δικτύου διότι, λόγω των κλάδων εισόδου/εξόδου, διακόπτεται σε ορισμένα τμήματα, γεγονός που προκαλεί κινήσεις μερισμού και συμβολής. Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας, εξετάζεται ο τρόπος με τον οποίο η κατά παράβαση οδήγηση στη ΛΕΑ επηρεάζει τη λειτουργία ενός δικτύου υπό διαφορετικές συνθήκες κυκλοφοριακού φόρτου και για διαφορετικά ποσοστά παραβατών. Η διερεύνηση πραγματοποιήθηκε μέσω μικροσκοπικής προσομοίωσης με χρήση του λογισμικού Aimsun.

## 1.2 Δομή της Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία απαρτίζεται από τέσσερα ακόμη κεφάλαια στα οποία περιγράφονται το θεωρητικό υπόβαθρο και έννοιες που σχετίζονται με το θέμα, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, η ανάλυση των αποτελεσμάτων και τα συμπεράσματα που προέκυψαν.

Πιο συγκεκριμένα, στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο περιγράφεται το επιστημονικό υπόβαθρο της εργασίας. Αναφέρονται ορισμένες θεμελιώδεις έννοιες της κυκλοφοριακής τεχνικής και βασικά στοιχεία που αφορούν στο θέμα της εργασίας, όπως η λειτουργία των αυτοκινητοδρόμων. Επίσης, περιγράφεται η έννοια της κυκλοφοριακής προσομοίωσης και γίνεται αναφορά στα πρότυπα προσομοίωσης και σε ορισμένα λογισμικά. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο λογισμικό προσομοίωσης Aimsun, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της εργασίας. Επίπλέον, στο κεφάλαιο 2 γίνεται μια σύντομη αναφορά σε άλλες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί

πάνω στο θέμα της χρήσης της Λωρίδας Έκτακτης Ανάγκης (ΛΕΑ) σε αυτοκινητοδρόμους προσεγγίζοντάς το από διαφορετικές πλευρές.

Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναπτύσσεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για το συγκεκριμένο θέμα. Αρχικά περιγράφεται ο σχεδιασμός του δικτύου στο περιβάλλον του λογισμικού Aimsun και κατόπιν, η διαδικασία προσδιορισμού των σεναρίων προσομοίωσης, καθώς επίσης και η δημιουργία τους με τη βοήθεια του προγράμματος. Τέλος, περιγράφεται και η διαδικασία εξαγωγής των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων μέσω της διαχείρισης των εξαγόμενων βάσεων δεδομένων.

Το 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο αφορά στην ανάλυση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων των τελικών σεναρίων. Στο κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνονται και επεξηγούνται τα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας πίνακες και διαγράμματα με σκοπό τη διευκόλυνση της αξιολόγησής τους. Η ανάλυση έγινε σε δύο επίπεδα, και πιο συγκεκριμένα, σε επίπεδο οδικού δικτύου και σε επίπεδο λωρίδας κίνησης. Τα μεγέθη τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ήταν η μέση καθυστέρηση, η μέση ταχύτητα και ο κυκλοφοριακός φόρτος.

Στο 5<sup>ο</sup> και τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας συνοψίζονται οι παρατηρήσεις και τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την ανάλυση των αποτελεσμάτων για τη λειτουργία του δικτύου. Επίσης, παρατίθενται ορισμένες προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση του συγκεκριμένου αντικείμενου μελέτης.





## 2. ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφονται ορισμένες βασικές έννοιες της κυκλοφοριακής τεχνικής και της προσομοίωσης. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη της κυκλοφοριακής ροής και ορισμένες έννοιες σχετικά με την κυκλοφοριακή ικανότητα καθώς επίσης και βασικά στοιχεία σχετικά με τη λειτουργία των αυτοκινητοδρόμων. Επιπλέον, περιγράφονται τα πρότυπα προσομοίωσης και ορισμένα λογισμικά προσομοίωσης, εστιάζοντας στο πρόγραμμα Aimsun το οποίο χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της εργασίας αυτής. Τέλος, γίνεται μια αναφορά και σε άλλες έρευνες και μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί πάνω στο θέμα της χρήσης της Λωρίδας Έκτακτης Ανάγκης (ΛΕΑ) σε αυτοκινητοδρόμους προσεγγίζοντάς το από διαφορετικές πλευρές.

### 2.1 Βασικά Στοιχεία Κυκλοφοριακής Τεχνικής

#### 2.1.1 Χαρακτηριστικά Μεγέθη Κυκλοφοριακής Ροής

Η κυκλοφοριακή τεχνική είναι το τμήμα της συγκοινωνιακής τεχνικής που αφορά στο σχεδιασμό και στη λειτουργία οδικών τμημάτων και δικτύων και στη σχέση τους με τα υπόλοιπα μέσα μετακίνησης (ITE, 1999). Η εξέταση της κυκλοφορίας σε ένα οδικό τμήμα γίνεται με τη χρήση ορισμένων μεγεθών που ονομάζονται χαρακτηριστικά μεγέθη της κυκλοφοριακής ροής. Τα βασικά μεγέθη της κυκλοφοριακής ροής σε μικροσκοπικό επίπεδο είναι ο χρονικός διαχωρισμός, η ταχύτητα σημείου και ο χωρικός διαχωρισμός. Τα αντίστοιχα μεγέθη σε μακροσκοπικό επίπεδο είναι ο κυκλοφοριακός φόρτος, η μέση ταχύτητα και η πυκνότητα.

#### **Κυκλοφοριακός φόρτος:**

Είναι ο συνολικός αριθμός οχημάτων που διέρχεται από μια διατομή στη μονάδα του χρόνου. Εκφράζεται σε οχήματα/ώρα και προσδιορίζεται με μέτρηση σε σημείο του αριθμού των οχημάτων (N) που διέρχονται από αυτό στη διάρκεια μιας περιόδου (T) και αναγωγή στην ώρα.

$$q = \frac{N}{T}$$

Οι κυκλοφοριακοί φόρτοι παρουσιάζουν διακύμανση στον τρόπο που κατανέμονται στο χώρο και στο χρόνο. Σε σχέση με το χώρο, διακυμάνσεις παρατηρούνται και ανάμεσα σε διαφορετικές κατευθύνσεις αλλά και ανάμεσα στις διαφορετικές λωρίδες. Η διαφοροποίηση αυτή εξαρτάται από τη σύνθεση της κυκλοφορίας, τις κυκλοφοριακές συνθήκες, το φόρτο και την ταχύτητα καθώς και από τις συνθήκες οδήγησης των χρηστών. Σε σχέση με το χρόνο, ο κυκλοφοριακός φόρτος παρουσιάζει τρεις κύκλους διακύμανσης: κατά τη διάρκεια ενός έτους (μηνιαία διακύμανση), κατά τη διάρκεια μιας εβδομάδας (ημερήσια διακύμανση), κατά τη διάρκεια μιας ημέρας (ωριαία διακύμανση). Η μια ώρα κατά τη διάρκεια της οποίας ο κυκλοφοριακός φόρτος παίρνει την υψηλότερη τιμή ονομάζεται ώρα αιχμής και η αντίστοιχη τιμή φόρτος αιχμής. Από την ταξινόμηση των φόρτων αιχμής κατά φθίνουσα σειρά επιλέγεται η χαρακτηριστική ώρα για το σχεδιασμό και τη λειτουργία των οδών και η τιμή του φόρτου την ώρα αυτή ονομάζεται ωριαίος φόρτος μελέτης. Έτσι οι οδοί σχεδιάζονται ώστε να μπορούν να εξυπηρετήσουν κυκλοφοριακούς φόρτους που κυμαίνονται μεταξύ του 30ού και του 100ού φόρτου αιχμής κατά τη διάρκεια ενός έτους.

Επίσης, διακύμανση του κυκλοφοριακού φόρτου παρατηρείται και εντός μιας ώρας. Οι βραχυπρόθεσμες αυτές διακυμάνσεις ενδέχεται να υπερβαίνουν την κυκλοφοριακή ικανότητα της οδού και για το λόγο αυτό είναι συχνά απαραίτητο να γνωρίζουμε την κατανομή του φόρτου κατά τη διάρκεια μικρότερων χρονικών περιόδων από αυτήν της ώρας. Η ανάλυση έχει δείξει ότι η μικρότερη περίοδος μέσα στην οποία μπορεί να θεωρηθεί ότι ο κυκλοφοριακός φόρτος παρουσιάζει στατιστικά σταθερές συνθήκες είναι τα 15 λεπτά. Ένα μέγεθος που εκφράζει τη διακύμανση του κυκλοφοριακού φόρτου μέσα στην ώρα είναι ο συντελεστής ώρας αιχμής (ΣΩΑ) που ορίζεται ως ο λόγος του ωριαίου φόρτου προς το τετραπλάσιο του μέγιστου φόρτου 15λεπτου. Ο ΣΩΑ παίρνει συνήθως τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 0,85 και 0,95 και χρησιμοποιείται για την αναγωγή του ωριαίου φόρτου μελέτης σε φόρτο σχεδιασμού.

### **Ταχύτητα:**

Η ταχύτητα σημείου, η οποία ορίζεται σε μικροσκοπικό επίπεδο, είναι η ταχύτητα που έχει ένα όχημα όταν περνά από δεδομένο σημείο. Ακόμη, ορίζεται και η ταχύτητα λειτουργίας η οποία είναι η μέγιστη ταχύτητα διαδρομής με την οποία μπορεί να κινηθεί ένα όχημα σε δεδομένο τμήμα του οδικού δικτύου υπό καλές καιρικές συνθήκες, με την υπάρχουσα κυκλοφορία και χωρίς να ξεπεράσει τη μέγιστη ταχύτητα ασφαλείας που εκφράζεται από την ταχύτητα μελέτης.

Σε μακροσκοπικό επίπεδο ορίζονται ακόμη η μέση χωρική ταχύτητα και η μέση χρονική ταχύτητα. Η μέση χωρική ταχύτητα ( $u_s$ ) είναι ο αριθμητικός μέσος όρος των ταχυτήτων

σημείου ( $u_i$ ) όλων των οχημάτων ( $M$ ) που βρίσκονται σε δεδομένο τμήμα της οδού μια χρονική στιγμή. Η μέση χρονική ταχύτητα ( $u_t$ ) είναι ο αριθμητικός μέσος όρος των ταχυτήτων σημείου ( $u_i$ ) των οχημάτων ( $N$ ) που περνούν μπροστά από μια διατομή οδού σε μια δεδομένη χρονική περίοδο.

$$u_s = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M u_i$$
$$u_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_i$$

### **Πυκνότητα και Κατάληψη:**

Η πυκνότητα ( $k$ ) ορίζεται ως ο αριθμός των οχημάτων που κινούνται σε μια δεδομένη στιγμή στη μονάδα μήκους της οδού και εκφράζεται συνήθως σε οχήματα/χλμ. Υπολογίζεται με μέτρηση του αριθμού των οχημάτων ( $M$ ) που βρίσκονται σε οδικό τμήμα μήκους ( $D$ ) σε δεδομένη χρονική στιγμή. Η πυκνότητα μπορεί να θεωρηθεί ότι εκφράζει την ένταση της κυκλοφορίας στο χώρο και είναι ένα από τα δύο μεγέθη που εκφράζουν τη συγκέντρωση.

$$k = \frac{M}{D}$$

Ένα άλλο μέγεθος που εκφράζει τη συγκέντρωση είναι η κατάληψη. Η κατάληψη ορίζεται ως το ποσοστό της μονάδας χρόνου που ένα σημείο του δρόμου καταλαμβάνεται από διερχόμενα οχήματα. Μπορεί να θεωρηθεί ότι εκφράζει την ένταση της κυκλοφορίας στο χρόνο.

### **Χρονικός και Χωρικός Διαχωρισμός:**

Ο διαχωρισμός εκφράζει την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών οχημάτων είτε στη χρονική είτε στη χωρική διάσταση με τα μεγέθη: μέσος χρονικός διαχωρισμός και μέσος χωρικός διαχωρισμός.

Ο μέσος χρονικός διαχωρισμός ( $h_t$ ) είναι ο χρόνος μεταξύ των διελεύσεων δύο διαδοχικών οχημάτων από μία διατομή και εκφράζεται σε μονάδες χρόνου (π.χ. δλ.). Ο υπολογισμός του γίνεται με καταγραφή των χρονικών στιγμών διέλευσης των οχημάτων ( $N$ ) από μία συγκεκριμένη διατομή κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος, και εξαγωγή του μέσου όρου τους.

$$h_t = \frac{\sum_{i=1}^N h_{t(i)}}{N}$$

Ο χωρικός διαχωρισμός ( $h_s$ ) είναι η απόσταση μεταξύ των δύο διαδοχικών οχημάτων σε μία χρονική στιγμή και εκφράζεται σε μονάδες μήκους (π.χ. μέτρα). Ο τρόπος μέτρησής του αφορά στην καταγραφή της θέσης των οχημάτων σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή και τον υπολογισμό των επιμέρους αποστάσεων μεταξύ των διαδοχικών οχημάτων. Ο μέσος χωρικός διαχωρισμός αποτελεί τον μέσο όρο τους.

$$h_s = \frac{\sum_{i=1}^N h_{s(i)}}{N}$$

Ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι αντιστρόφως ανάλογος του μέσου χρονικού διαχωρισμού και η πυκνότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη του μέσου χωρικού διαχωρισμού.

### 2.1.2 Μεγέθη για την αποτύπωση των κυκλοφοριακών συνθηκών

Για τη διερεύνηση της λειτουργίας των διάφορων οδικών τμημάτων χρησιμοποιούνται ορισμένα μεγέθη που αποτυπώνουν τις κυκλοφοριακές συνθήκες όπως τα παρακάτω:

**Κυκλοφοριακή Ικανότητα ( $c$ ):** Ορίζεται ως ο μέγιστος κυκλοφοριακός φόρτος που μπορεί να διέλθει από μία διατομή υπό τις επικρατούσες οδικές και κυκλοφοριακές συνθήκες και συνθήκες ελέγχου της κυκλοφορίας.

**Ροή Κορεσμού ( $s$ ):** Ορίζεται ως ο μέγιστος κυκλοφοριακός φόρτος που μπορεί να διέλθει από μία διατομή υπό τις επικρατούσες οδικές και κυκλοφοριακές συνθήκες. Η διαφορά από την κυκλοφοριακή ικανότητα είναι ότι στην κυκλοφοριακή ικανότητα υπεισέρχεται παρεμπόδιση της κυκλοφορίας εξαιτίας ελέγχου όπως είναι η φωτεινή σηματοδότηση ή διασταυρώσεις με παραχώρηση προτεραιότητας.

**Στάθμη Εξυπηρέτησης:** Είναι ένα ποιοτικό μέγεθος που εκφράζει τις συνθήκες λειτουργίας. Η στάθμη εξυπηρέτησης ορίζεται, ανάλογα με το είδος του οδικού τμήματος, με βάση ορισμένες τιμές μεγεθών όπως η ταχύτητα, η μέση καθυστέρηση, η πυκνότητα. Για τα τμήματα αυτοκινητοδρόμου η στάθμη εξυπηρέτησης ορίζεται με βάση την πυκνότητα. Έχουν καθιερωθεί έξι στάθμες εξυπηρέτησης: A, B, C, D, E και F, με την A να δηλώνει συνθήκες ελεύθερης ροής και την F πλήρη κατάρρευση της κυκλοφορίας (Εικόνα 2.1).



ΣΤΑΘΜΗ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ Α



ΣΤΑΘΜΗ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ Β



ΣΤΑΘΜΗ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ C



ΣΤΑΘΜΗ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ D



ΣΤΑΘΜΗ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ E



ΣΤΑΘΜΗ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ F

*Εικόνα 2.1: Απεικόνιση σταθμών εξυπηρέτησης σε αυτοκινητόδρομο.  
(Πηγή: HCM, 2010)*

Βαθμός Κορεσμού ( $\frac{v}{c}$ ): Είναι το πηλίκο του κυκλοφοριακού φόρτου που επιθυμεί να διέλθει από μία διατομή προς την κυκλοφοριακή ικανότητα της διατομής. Οι χαρακτηριστικές του τιμές είναι 0 και 1. Στην πρώτη περίπτωση δεν υπάρχει ζήτηση, άρα έχουμε συνθήκες ελεύθερης ροής, ενώ στη δεύτερη περίπτωση η ζήτηση ισούται με την προσφορά και έχουμε συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης. Συνεπώς, μπορούμε κατά προσέγγιση να

θεωρήσουμε βαθμούς κορεσμού από 0 έως 0,4 για συνθήκες χαμηλού φόρτου, από 0,4 έως 0,7 για συνθήκες μέσης φόρτισης, ενώ ακόμη μεγαλύτερες τιμές υποδεικνύουν συνθήκες υψηλής φόρτισης.

Μέση Καθυστέρηση ( $d$ ): Πρόκειται για τη διαφορά του χρόνου που θα χρειαστεί ένα όχημα για να διανύσει ένα οδικό τμήμα με βάση τις επικρατούσες συνθήκες από το χρόνο που χρειάζεται για να διανύσει το ίδιο τμήμα σε συνθήκες ελεύθερης ροής. Μέση καθυστέρηση για ένα όχημα παρατηρείται συνήθως σε συνθήκες υψηλού φόρτου αλλά μπορεί, επίσης, να υπάρξει και σε συνθήκες χαμηλού φόρτου αν, για παράδειγμα, τα οχήματα σε ένα οδικό τμήμα κινούνται με χαμηλότερες ταχύτητες από την επιθυμητή του εξεταζόμενου οχήματος. Επίσης, η μέση καθυστέρηση μπορεί να οφείλεται και στις συνθήκες ελέγχου της κυκλοφορίας (πχ σηματοδότηση).

Ουρά Αναμονής ( $N$ ): Εκφράζεται είτε ως αριθμός οχημάτων που σχηματίζουν ουρά είτε ως μήκος της ουράς αναμονής.

### **2.1.3 Λειτουργία Αυτοκινητοδρόμων**

#### **2.1.3.1 Γενικά Στοιχεία Αυτοκινητοδρόμων**

Οι αυτοκινητόδρομοι είναι δρόμοι σχεδιασμένοι έτσι ώστε να διακινούν τον μεγαλύτερο δυνατό φόρτο, συνήθως μεταξύ πόλεων, και να επιτρέπουν την οδήγηση με σταθερά υψηλή ταχύτητα. Πρόκειται για οδούς δύο κατευθύνσεων, οι οποίες περιλαμβάνουν δύο, τρεις ή περισσότερες λωρίδες ανά κατεύθυνση, ένα διαχωριστικό κράσπεδο (νησίδα) και μία βοηθητική λωρίδα κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση, γνωστή στην Ελλάδα ως λωρίδα Έκτακτης Ανάγκης (ΛΕΑ).

Αυτό που διακρίνει τους αυτοκινητόδρομους από τις άλλες κύριες οδούς, όπως οι εθνικές οδοί, είναι ο συνεχής διαχωρισμός των δύο κατευθύνσεων κυκλοφορίας και η απουσία ισόπεδων διασταυρώσεων και φωτεινής σηματοδότησης. Στους αυτοκινητόδρομους υπάρχει πλήρης έλεγχος προσβάσεων και η είσοδος ή η έξοδος των οχημάτων γίνεται μέσω ειδικά διαμορφωμένων ανισόπεδων κόμβων. Κάθε έξοδος είναι αριθμημένη και πριν από κάθε έξοδο, υπάρχει συνήθως μια ξεχωριστή λωρίδα επιβράδυνσης για τα οχήματα που σκοπεύουν να εξέλθουν από τον αυτοκινητόδρομο. Αντίστοιχα, αμέσως μετά από κάθε είσοδο υπάρχει μια λωρίδα επιτάχυνσης για τα οχήματα που εισέρχονται. Στη σήμανση των

Ελληνικών αυτοκινητοδρόμων χρησιμοποιούνται άσπρα/κίτρινα γράμματα γραμματοσειράς DIN 1451, σε πράσινο φόντο.

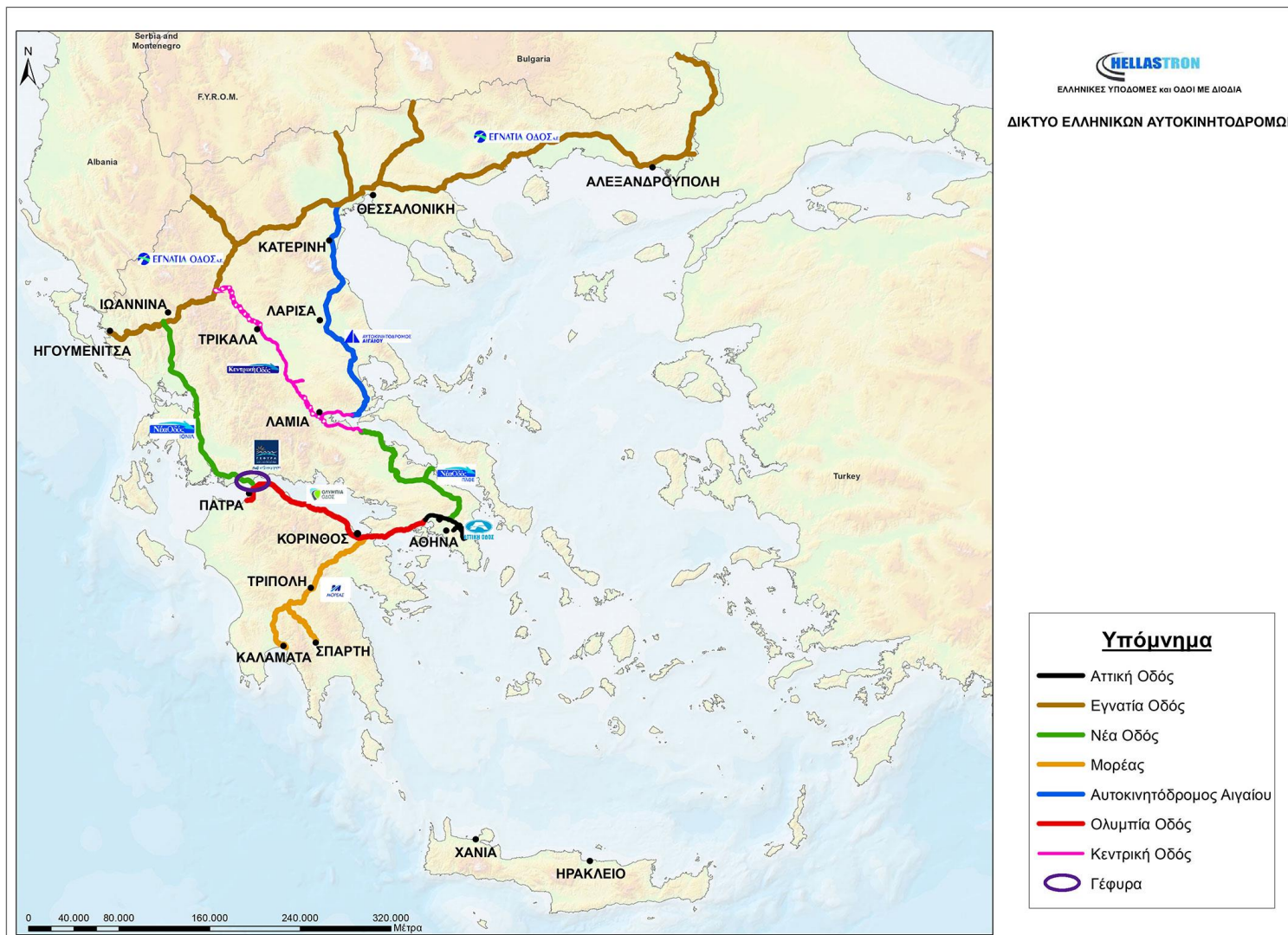
Η αρίθμηση και τα ονόματα των ελληνικών αυτοκινητοδρόμων ορίζονται από υπουργική απόφαση του 2015 (ΦΕΚ 2015). Οι κύριοι άξονες είναι της μορφής Αx, όπου x είναι μονοί αριθμοί για κάθετους αυτοκινητόδρομους και ζυγοί για οριζόντιους, ενώ οι κλάδοι τους είναι της μορφής Αxx/Αxxx.

Ο φορέας στον οποίο συμμετέχουν όλοι οι σύγχρονοι αυτοκινητόδρομοι και οι υποδομές με διόδους που λειτουργούν στην Ελλάδα, και είναι υπεύθυνος για την προώθηση των οδικών μεταφορών και της οδικής ασφάλειας είναι η HELLASTRON. Η HELLASTRON, μεταξύ άλλων, επιδιώκει τη συνεχή βελτίωση των οδικών υποδομών και των παρεχόμενων υπηρεσιών προς τους χρήστες, την προώθηση της έρευνας σε θέματα μεταφορών και την ανάπτυξη της επιστήμης της κατασκευής και διαχείρισης των οδικών υποδομών (πηγή: [www.hellastron.com](http://www.hellastron.com)).

Οι κύριοι αυτοκινητόδρομοι της Ελλάδας, οι οποίοι αποτελούν και μέλη της HELLASTRON, είναι οι εξής:

- Αττική Οδός (Ελευσίνα – Αεροδρόμιο)
- Εγνατία Οδός (Ηγουμενίτσα – Θεσσαλονίκη – Κήποι Έβρου)
- Νέα Οδός / Ιόνια Οδός (Τσακώνα – Πάτρα – Ιωάννινα – Κακαβιά)
- Αυτοκινητόδρομος Μορέας (Κόρινθος – Τρίπολη – Καλαμάτα και κλάδος Λεύκτρο – Σπάρτη)
- Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου (Ράχες Ν.Φθιώτιδος – Σκοτίνα Ν.Πιερίας)
- Ολυμπία Οδός (Αθήνα – Πάτρα)
- Κεντρική Οδός (Λαμία – Κηπουρειό)





Εικόνα 2.2: Ελληνικό δίκτυο αυτοκινητοδρόμων.

(Πηγή: HELLASTRON)



### 2.1.3.2 Τμήματα Αυτοκινητοδρόμων

Στους αυτοκινητόδρομους συναντώνται γενικά τρία είδη ομοιόμορφων οδικών τμημάτων, η λειτουργία των οποίων μπορεί και να μελετηθεί ξεχωριστά. Τα τμήματα αυτά είναι τα εξής:

Περιοχές συμβολής και μερισμού: οδικά τμήματα στα οποία δύο ή περισσότερα ρεύματα συμβάλλουν για τη δημιουργία ενός ρεύματος (συμβολή) ή ένα ρεύμα διακρίνεται σε δύο ή περισσότερα ρεύματα (μερισμός).

Περιοχές πλέξης αυτοκινητοδρόμου: οδικά τμήματα στα οποία δύο ή περισσότερα κυκλοφοριακά ρεύματα που κινούνται προς την ίδια γενική κατεύθυνση διασταυρώνονται κατά μήκος ενός σημαντικού τμήματος του αυτοκινητοδρόμου, χωρίς τη βοήθεια εξοπλισμού ελέγχου (εκτός από σήμανση και καθοδήγηση). Περιοχές πλέξης διαμορφώνονται όταν μια περιοχή μερισμού ακολουθεί αμέσως μετά από μια περιοχή συμβολής ή όταν ένας κλάδος εξόδου μιας λωρίδας ακολουθεί αμέσως μετά από έναν κλάδο εισόδου και οι δυο συνδέονται με συνεχόμενη επιπλέον λωρίδα κυκλοφορίας.

Βασικά τμήματα αυτοκινητοδρόμου: όλα τα τμήματα που δεν αποτελούν συμβολή, μερισμό ή πλέξη.

Λαμβάνοντας υπόψη και τις περιοχές επιρροής των τμημάτων πλέξης, συμβολής και μερισμού, προσδιορίζονται και τα τμήματα που αποτελούν βασικά τμήματα αυτοκινητοδρόμου. Οι περιοχές επιρροής, με βάση το HCM 2010, ορίζονται ως εξής:

- Για τα τμήματα πλέξης: το βασικό μήκος του τμήματος πλέξης συν 150 μέτρα ανάντη του σημείου εισόδου συν 150 μέτρα κατάντη του σημείου εξόδου από την περιοχή πλέξης.
- Για τα τμήματα συμβολής: από το σημείο όπου συναντώνται τα όρια των λωρίδων κυκλοφορίας μέχρι το σημείο περί τα 460 μέτρα κατάντη του σημείου αυτού.
- Για τα τμήματα μερισμού: από το σημείο που συναντώνται τα όρια των λωρίδων μέχρι το σημείο περί τα 460 μέτρα ανάντη του σημείου αυτού.

### 2.1.3.3 Μελέτη της Λειτουργίας Αυτοκινητοδρόμων

Η διερεύνηση της λειτουργίας των αυτοκινητοδρόμων μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους ανάλογα με την εκάστοτε περίπτωση. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, η διερεύνηση γίνεται

με τη διενέργεια προσομοίωσης, ωστόσο όμως, η λειτουργία ενός αυτοκινητοδρόμου μπορεί να εκτιμηθεί και με αναλυτικό τρόπο χρησιμοποιώντας ειδικές μεθοδολογίες. Μια μεθοδολογία που εφαρμόζεται ευρέως είναι αυτή του Highway Capacity Manual 2010 (HCM, 2010) για την εκτίμηση της κυκλοφοριακής ικανότητας και της στάθμης εξυπηρέτησης. Ωστόσο, η συγκεκριμένη μεθοδολογία δε μπορεί να εφαρμοστεί σε ορισμένες περιπτώσεις που αναφέρονται παρακάτω και σε αυτές θα πρέπει να χρησιμοποιούνται ειδικές περιπτώσεις της μεθοδολογίας ή να εφαρμόζεται προσομοίωση. Οι περιπτώσεις αυτές είναι οι εξής:

- Ύπαρξη ειδικών λωρίδων κυκλοφορίας, π.χ. για βαρέα οχήματα, οχήματα υψηλής πληρότητας ή λωρίδες αναρρίχησης.
- Περιορισμός στις αλλαγές λωρίδας.
- Παρατεταμένα τμήματα σε γέφυρα ή σήραγγα.
- Τμήματα κοντά σε σταθμούς διοδίων.
- Τμήματα με ταχύτητα ελεύθερης ροής χαμηλότερης από 55 μαω ή υψηλότερης από 75 μαω.
- Επίδραση της κατάντη ουράς σε ένα οδικό τμήμα.
- Επιπτώσεις αστυνόμευσης.
- Παρουσία ευφυών συστημάτων μεταφορών (ITS), τα οποία επηρεάζουν την καθοδήγηση του οδηγού ή τη λειτουργία του οχήματος.
- Εφαρμογές ελέγχου στους κλάδους εισόδου.
- Λειτουργικές επιπτώσεις σε συνθήκες κυκλοφοριακού κορεσμού.
- Λειτουργικές επιπτώσεις εργασιών επί της οδού.

Η μεθοδολογία του HCM 2010 για βασικά τμήματα αυτοκινητοδρόμου περιγράφεται με τα εξής βήματα:

### **Βήμα 1: Συλλογή δεδομένων εισόδου**

Είτε χρησιμοποιώντας πραγματικές τιμές από το οδικό τμήμα ανάλυσης είτε επιλέγοντας κατάλληλες καταρχήν τιμές, τα δεδομένα που συγκεντρώνονται είναι τα εξής:

- Ζήτηση για χρήση της υποδομής
- Αριθμός και πλάτος λωρίδων
- Απόσταση πλευρικών εμποδίων από τη δεξιά πλευρά
- Συνολική πυκνότητα κλάδων εισόδου και εξόδου

- Ποσοστό βαρέων οχημάτων (φορτηγά και λεωφορεία)
- Συντελεστής ώρας αιχμής (ΣΩΑ)
- Ανάγλυφο
- Συντελεστής εξοικείωσης οδηγών

### **Βήμα 2: Υπολογισμός ταχύτητας ελεύθερης ροής**

Η ταχύτητα ελεύθερης ροής (TEP) μπορεί να υπολογιστεί είτε από επιτόπου μετρήσεις στην περίπτωση ύπαρξης ή δυνατότητας πραγματοποίησης επιτόπου κυκλοφοριακών μετρήσεων, είτε βάσει μιας μεθοδολογίας.

Η μέτρηση της ταχύτητας θα πρέπει να πραγματοποιείται σε κατάλληλη θέση του οδικού τμήματος μελέτης και σε χρονική στιγμή όπου ο φόρτος είναι μικρότερος από 1.000 ΜΕΑ/ώρα/λωρίδα. Απαιτείται δείγμα τουλάχιστον 100 επιβατικών οχημάτων.

Στην περίπτωση που δεν είναι δυνατή η πραγματοποίηση μετρήσεων στο πεδίο, ή σε περιπτώσεις που αναφέρονται στον σχεδιασμό μελλοντικών υποδομών, ο υπολογισμός γίνεται ως εξής:

$$FFS = 75.4 - f_{LW} - f_{LC} - 3.22 TRD^{0.84}$$

όπου:

FFS: η ταχύτητα ελεύθερης ροής (TEP) του οδικού τμήματος (μω)

$f_{LW}$ : είναι ο συντελεστής προσαρμογής για το πλάτος λωρίδας (μω)

$f_{LC}$ : είναι ο συντελεστής προσαρμογής για την απόσταση πλευρικών εμποδίων στη δεξιά πλευρά της οδού (μω)

TRD: η συνολική πυκνότητα κλάδων εισόδου και εξόδου (κλάδοι ανά μίλι)

Ο συντελεστής προσαρμογής λόγω πλάτους λωρίδας ισχύει όταν το πλάτος λωρίδας είναι μικρότερο από 12 πόδια. Στην περίπτωση αυτή, η TEP απομειώνεται ανάλογα με τις τιμές που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2.1).

Πίνακας 2.1: Τιμές συντελεστή  $f_{LW}$  σε σχέση με το πλάτος λωρίδας

(Πηγή: HCM, 2010)

Μέσο πλάτος λωρίδας (πόδια)	$f_{LW}$ (μω)
≥12	0,0
≥11-12	1,9
≥10-11	6,6

Η βασική συνθήκη σχετικά με την απόσταση πλευρικών εμποδίων στη δεξιά πλευρά είναι 6 πόδια ή περισσότερα. Η πλευρική απόσταση υπολογίζεται από το δεξιό άκρο της λωρίδας κυκλοφορίας μέχρι το πλησιέστερο πλευρικό εμπόδιο. Οι τιμές του συντελεστή  $f_{LC}$  λόγω των πλευρικών εμποδίων σε απόσταση μικρότερη από 6 πόδια από το δεξιό άκρο της λωρίδας κυκλοφορίας δίνονται στον παρακάτω πίνακα. Σχετικά με την επίπτωση εμποδίων στην αριστερή πλευρά της οδού, επισημαίνεται ότι έχει παρατηρηθεί πως η επίπτωση αποστάσεων μεγαλύτερων των δύο ποδιών έχει μικρή επίπτωση στην κυκλοφορία, ενώ αντίθετα μικρότερες αποστάσεις δεν παρατηρούνται σε σύγχρονους αυτοκινητοδρόμους.

Πίνακας 2.2: Τιμές συντελεστή  $f_{LC}$  σε σχέση με την απόσταση των πλευρικών εμποδίων και τον αριθμό των λωρίδων ανά κατεύθυνση.

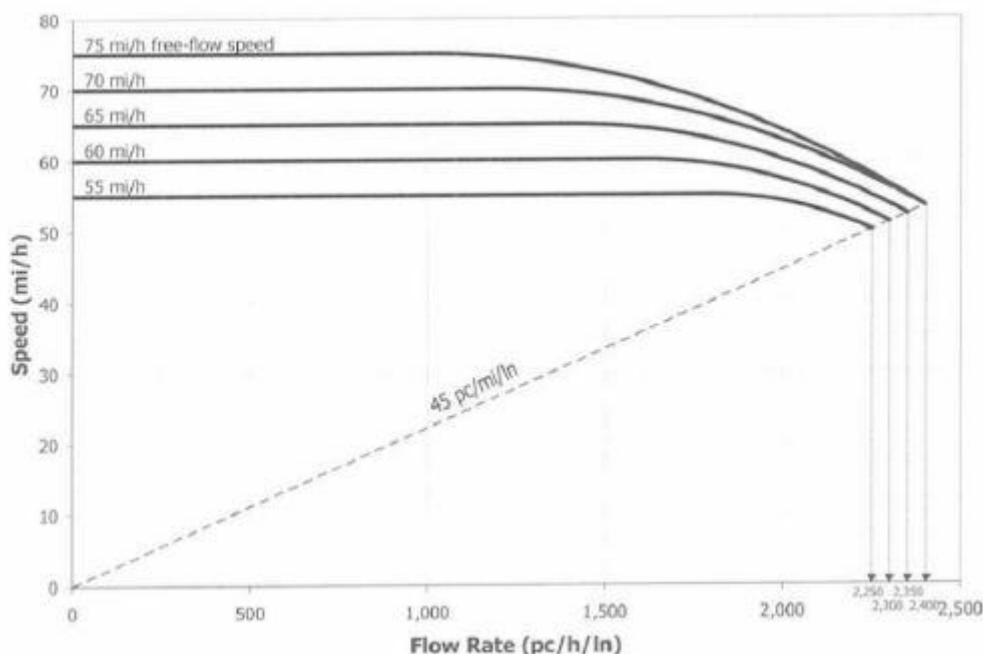
(Πηγή: HCM, 2010)

Απόσταση πλευρικών εμποδίων στη δεξιά πλευρά (πόδια)	Λωρίδες ανά κατεύθυνση			
	2	3	4	≥5
≥6	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,6	0,4	0,2	0,1
4	1,2	0,8	0,4	0,2
3	1,8	1,2	0,6	0,3
2	2,4	1,6	0,8	0,4
1	3,0	2,0	1,0	0,5
0	3,6	2,4	1,2	0,6

Σχετικά με τον όρο TRD, η συνολική πυκνότητα κλάδων ορίζεται ως ο αριθμός των κλάδων εισόδου και εξόδου, μονής κατεύθυνσης, που βρίσκονται σε απόσταση τρία μίλια ανάντη και τρία μίλια κατόντη από το μέσο του οδικού τμήματος που μελετάται, διαιρούμενου με τη συνολική απόσταση (έξι μίλια). Η συνολική πυκνότητα κλάδων περιγράφει τις επιπτώσεις των ελιγμών συμβολής και μερισμού στην TEP.

### **Βήμα 3: Επιλογή καμπύλης TEP**

Μετά τον υπολογισμό της TEP, επιλέγεται από τις βασικές καμπύλες ταχύτητας – φόρτου η πλησιέστερη στην τιμή της TEP που υπολογίστηκε. Στην Εικόνα 2.3 φαίνονται οι βασικές καμπύλες TEP και στον Πίνακα 2.3 παρουσιάζεται η αναλυτική σχέση που περιγράφει κάθε μια από τις καμπύλες.



Εικόνα 2.3: Καμπύλες ταχύτητας – φόρτου για διαφορετικές τιμές TEP

(Πηγή: Αντωνίου και Σπυροπούλου, 2015)

Πίνακας 2.3: Αναλυτικές σχέσεις ταχύτητας – φόρτου  
(Πηγή: HCM, 2010)

ΤΕΡ (μαω)	Όριο (ΜΕΑ/ώρα/λωρίδα)	≥ 0 και ≤ όριο	≥ όριο και ≤ κυκλοφοριακή ικανότητα
75	1000	75	$75 - 0.00001107(v_p - 1000)^2$
70	1200	70	$70 - 0.00001160(v_p - 1200)^2$
65	1400	65	$65 - 0.00001418(v_p - 1400)^2$
60	1600	60	$60 - 0.00001816(v_p - 1600)^2$
55	1800	55	$55 - 0.00002469(v_p - 1800)^2$

#### **Βήμα 4: Προσαρμογή ζήτησης**

Για την προσαρμογή του φόρτου που αναφέρεται σε πραγματικές συνθήκες στις ισοδύναμες συνθήκες αναφοράς γίνεται μια μετατροπή. Η μετατροπή της ζήτησης σε φόρτο ώρας αιχμής γίνεται μέσω της σχέσης:

$$v_p = \frac{V}{\Sigma\Omega A \times N \times f_{HV} \times f_p}$$

όπου:

$v_p$ : ο φόρτος υπό τις ισοδύναμες συνθήκες αναφοράς (ΜΕΑ/ώρα/λωρίδα)

V: είναι η ζήτηση υπό τις πραγματικές συνθήκες

$\Sigma\Omega A$ : ο συντελεστής ώρας αιχμής (συνήθως παίρνει τιμές μεταξύ 0,85 και 0,98)

N: ο αριθμός λωρίδων στην κατεύθυνση του αυτοκινητοδρόμου που αναλύεται

$f_{HV}$ : ο συντελεστής προσαρμογής για την παρουσία βαρέων οχημάτων στην κυκλοφορία

$f_p$ : ο συντελεστής προσαρμογής για μη εξοικειωμένους οδηγούς

Ο συντελεστής εξοικείωσης των οδηγών ( $f_p$ ) λαμβάνει συνήθως τιμές μεταξύ 0,85 και 1. Γενικά, αν δεν υπάρχει ειδική γνώση, χρησιμοποιείται η τιμή 1, η οποία υποδηλώνει εξοικειωμένους χρήστες της οδού.

Ο συντελεστής προσαρμογής βαρέων οχημάτων ( $f_{HV}$ ) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)}$$

όπου:

$f_{HV}$ : ο συντελεστής βαρέων οχημάτων

$P_T$ : το ποσοστό βαρέων οχημάτων (φορτηγών και λεωφορείων) στη σύνθεση της κυκλοφορίας

$E_T$ : οι ΜΕΑ ενός βαρέως οχήματος στην κυκλοφορία

Η επίπτωση των βαρέων οχημάτων στην κυκλοφορία εξαρτάται από το ανάγλυφο της περιοχής, την κλίση της οδού και τη σύνθεση της κυκλοφορίας. Οι τιμές των ΜΕΑ επιλέγονται για μια από τις παρακάτω περιπτώσεις:

- Γενικό ανάγλυφο
- Συγκεκριμένες ανωφέρειες
- Συγκεκριμένες κατωφέρειες

Ένα γενικό κριτήριο υπαγωγής στην κατηγορία «Γενικό ανάγλυφο» είναι κλίσεις μεταξύ 2% και 3% για απόσταση μεγαλύτερη από μισό μίλι ή 3% για μήκος μικρότερο από 0,25 μίλια. Σε αυτή την περίπτωση θεωρείται ομοιόμορφη κλίση και διακρίνονται τρεις περιπτώσεις:

- Επίπεδο ανάγλυφο: Τα βαρέα οχήματα διατηρούν ταχύτητες αντίστοιχες με των ΙΧ.
- Λοφώδες ανάγλυφο: Τα βαρέα οχήματα μειώνουν την ταχύτητά τους σημαντικά χαμηλότερα από αυτήν των ΙΧ, αλλά δεν λειτουργούν σε συνθήκες ταχύτητας αναρρίχησης (η μέγιστη ταχύτητα που μπορούν να διατηρήσουν τα φορτηγά σε μια εκτεταμένη ανωφέρεια).
- Ορεινό ανάγλυφο: Τα βαρέα οχήματα κινούνται με ταχύτητα αναρρίχησης για σημαντικές αποστάσεις ή σε διαδοχικές περιπτώσεις.

Οι τιμές των ΜΕΑ για τα βαρέα οχήματα όταν πρόκειται για γενικό ανάγλυφο καθορίζονται σύμφωνα με τον Πίνακα 2.4.

Πίνακας 2.4: Τιμές ΜΕΑ για τα βαρέα οχήματα στην περίπτωση γενικού αναγλύφου  
(Πηγή: HCM, 2010)

Επίπεδο ανάγλυφο	Λοφώδες ανάγλυφο	Ορεινό ανάγλυφο
1,5	2,5	4,5

Στην περίπτωση που δε μπορεί να γίνει η υπόθεση ότι πρόκειται για γενικό ανάγλυφο, η ανάλυση γίνεται ξεχωριστά ανά κατεύθυνση και χρησιμοποιούνται πίνακες που δίνουν τις τιμές ΜΕΑ των βαρέων οχημάτων ανάλογα με την κλίση και το μήκος συγκεκριμένων ανωφερειών και κατωφερειών καθώς και το ποσοστό των βαρέων οχημάτων. Οι τιμές αυτές λαμβάνονται από τους Πίνακες 2.5 και 2.6.

Όπως παρατηρείται στους πίνακες αυτούς, μεγαλύτερες τιμές προκύπτουν όταν υπάρχει μικρός αριθμός βαρέων οχημάτων στην κυκλοφορία ενώ μειώνονται όσο αυξάνει το ποσοστό τους. Αυτό συμβαίνει διότι τα οχήματα αυτά τείνουν να δημιουργούν φάλαγγες ακολουθίας.



Πίνακας 2.5: Τιμές ΜΕΑ για βαρέα οχήματα σε συγκεκριμένες ανωφέρειες  
(Πηγή: HCM, 2010)

Ανωφέρεια (%)	Μήκος (μίλια)	Ποσοστό βαρέων οχημάτων								
		2%	4%	5%	6%	8%	10%	15%	20%	≥25%
≤2	Όλα	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
>2-3	0,00-0,25	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,25-0,50	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,50-0,75	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,75-1,00	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>1,00-1,50	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	>1,50	3,0	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
>3-4	0,00-0,25	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,25-0,50	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5
	>0,50-0,75	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	>0,75-1,00	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0
	>1,00-1,50	3,5	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5
	>1,50	4,0	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5
>4-5	0,00-0,25	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,25-0,50	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	>0,50-0,75	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	>0,75-1,00	4,0	3,5	3,5	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	>1,00	5,0	4,0	4,0	4,0	3,5	3,5	3,5	3,0	3,0
>5-6	0,00-0,25	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,25-0,30	4,0	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	>0,30-0,50	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	>0,50-0,75	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	>0,75-1,00	5,5	5,0	4,5	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	>1,00	6,0	5,0	5,0	4,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
>6	0,00-0,25	4,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	1,0
	>0,25-0,30	4,5	4,0	3,5	3,5	3,5	3,0	2,5	2,5	2,5
	>0,30-0,50	5,0	4,5	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,5
	>0,50-0,75	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5	3,0	3,0	3,0
	>0,75-1,00	6,0	5,5	5,0	5,0	4,5	4,0	3,5	3,5	3,5
	>1,00	7,0	6,0	5,5	5,5	5,0	4,5	4,0	4,0	4,0

Πίνακας 2.6: Τιμές ΜΕΑ για βαρέα οχήματα σε συγκεκριμένες κατωφέρειες  
(Πηγή: HCM, 2010)

Κατωφέρεια (%)	Μήκος (μίλια)	Ποσοστό βαρέων οχημάτων			
		5%	10%	15%	≥20%
<4	Όλα	1,5	1,5	1,5	1,5
4-5	≤4	1,5	1,5	1,5	1,5
	>4	2,0	2,0	2,0	1,5
>5-6	≤4	1,5	1,5	1,5	1,5
	>4	5,5	4,0	4,0	3,0
>6	≤4	1,5	1,5	1,5	1,5
	>4	7,5	6,0	5,5	4,5

### **Βήμα 5: Εκτίμηση ταχύτητας και πυκνότητας**

Η εκτίμηση της μέσης ταχύτητας ( $S$ ) μπορεί να γίνει είτε με τη γραφική μέθοδο χρησιμοποιώντας την Εικόνα 2.3 είτε αναλυτικά από τις σχέσεις που συνοψίζονται στον Πίνακα 2.3.

Η εκτίμηση της πυκνότητας γίνεται με τη σχέση:

$$D = \frac{v_p}{S}$$

όπου:

$D$ : η πυκνότητα (ΜΕΑ/μίλια/λωρίδα)

$v_p$ : ο προσαρμοσμένος φόρτος (ΜΕΑ/ώρα/λωρίδα)

$S$ : η μέση ταχύτητα κυκλοφορίας (μαω)

Η σχέση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο όταν ο βαθμός κορεσμού προκύπτει μικρότερος της μονάδας ( $\frac{v}{c} < 1$ ). Όταν  $\frac{v}{c} > 1$ , η στάθμη εξυπηρέτησης είναι  $F$  και δεν είναι δυνατός ο υπολογισμός της ταχύτητας. Στην περίπτωση αυτή ακολουθείται διαφορετική μεθοδολογία.

Με βάση την τιμή της πυκνότητας που προκύπτει, προσδιορίζεται η στάθμη εξυπηρέτησης σύμφωνα με τον Πίνακα 2.7.

Πίνακας 2.7: Στάθμη εξυπηρέτησης αυτοκινητοδρόμου με βάση την τιμή της πυκνότητας  
(Πηγή: HCM, 2010)

Στάθμη Εξυπηρέτησης	Πυκνότητα (ΜΕΑ /μίλι/λωρίδα)
A	≤11
B	>11-18
C	>18-26
D	>26-35
E	>35-45
F	>45 Η ζήτηση υπερβαίνει την κυκλοφοριακή ικανότητα

## 2.2 Κυκλοφοριακή Προσομοίωση

Η κυκλοφοριακή προσομοίωση αποτελεί το μέσο με το οποίο ο ερευνητής μπορεί να αναπαραστήσει την πραγματικότητα χρησιμοποιώντας μοντέλα και κάνοντας μια σειρά παραδοχών και υποθέσεων. Αυτό που την καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμη είναι ότι επιτρέπει τη δοκιμή πολλών εναλλακτικών λύσεων σχετικά εύκολα και οικονομικά καθώς επίσης και το γεγονός ότι δίνει τη δυνατότητα αξιολόγησης εναλλακτικών που δεν υπάρχουν ακόμα (π.χ οδικά έργα που δεν έχουν κατασκευαστεί ή τεχνολογίες που δεν έχουν υλοποιηθεί). Ένα ακόμα πλεονέκτημα της προσομοίωσης είναι ότι επιτρέπει τη μελέτη προβλημάτων με πάρα πολύ μεγάλο αριθμό παραμέτρων (π.χ. δεκάδες χιλιάδες οδικούς συνδέσμους, εκατοντάδες χιλιάδες οχήματα, δεκάδες χιλιάδες ζεύγη προέλευσης-προορισμού), καθώς και προβλημάτων που δε μπορούν να περιγραφούν από κάποιο μαθηματικό πρότυπο που να επιλύεται αναλυτικά. Σε αυτές τις περιπτώσεις λοιπόν που δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν παραδοσιακές μέθοδοι μελέτης, η προσομοίωση αποτελεί μια λύση.

### 2.2.1 Πρότυπα προσομοίωσης

Η κίνηση των οχημάτων μπορεί να αναλυθεί σε διάφορα επίπεδα ανάλογα με το βαθμό λεπτομέρειας των προτύπων που χρησιμοποιούνται. Τα μαθηματικά πρότυπα κυκλοφοριακής ροής είναι μαθηματικές σχέσεις με βάση τις οποίες δύναται να περιγραφεί η κίνηση των οχημάτων στον χώρο και τον χρόνο. Η περιγραφή της κίνησης των οχημάτων πραγματοποιείται μέσω του υπολογισμού συγκεκριμένων κάθε φορά μεγεθών, όπως η

ταχύτητα και η θέση του οχήματος, ανά τακτά χρονικά διαστήματα στα πλαίσια μιας επαναληπτικής διαδικασίας. Τα μαθηματικά πρότυπα μπορεί να είναι μικροσκοπικά, μακροσκοπικά ή μεσοσκοπικά και ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί προσομοίωση, επιλέγεται και το κατάλληλο πρότυπο.

Στα μικροσκοπικά πρότυπα η ανάλυση πραγματοποιείται σε μικροσκοπικό επίπεδο, δηλαδή η κίνηση των στοιχείων του συστήματος αναπαρίσταται με χρήση μοναδιαίων στοιχείων (π.χ οχήματα, πεζοί). Η αλληλεπίδρασή τους περιγράφεται με ιδιαίτερη λεπτομέρεια και σε κάθε μονάδα του συστήματος κατανέμονται ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και ιδιότητες. Η ανάλυση με βάση τα μικροσκοπικά πρότυπα είναι αρκετά περίπλοκη, όμως απεικονίζει την πραγματικότητα σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό.

Αντίστοιχα, στα μακροσκοπικά μαθηματικά πρότυπα η ανάλυση της κίνησης πραγματοποιείται σε μακροσκοπικό επίπεδο. Τα στοιχεία του συστήματος εξετάζονται συνολικά χωρίς να αναλύεται η συμπεριφορά της κάθε μονάδας. Βασίζονται στη θεώρηση ότι η συμπεριφορά της κίνησης εξαρτάται από τις συνθήκες του οδικού περιβάλλοντος και όχι από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των μονάδων του συνόλου ή την αλληλεπίδρασή τους.

Τέλος, τα μεσοσκοπικά πρότυπα αποτελούν ενδιάμεσα πρότυπα ανάμεσα στα μικροσκοπικά και τα μακροσκοπικά. Περιγράφουν την κίνηση των οχημάτων με απλό τρόπο αλλά χρησιμοποιούν επιπρόσθετες διορθώσεις για τις απλουστεύσεις που υιοθετούν.

Ο συνδυασμός των σχέσεων των μαθηματικών προτύπων με λογικούς κανόνες συμπεριφοράς, με σχεδιασμό σε γλώσσα ηλεκτρονικού υπολογιστή, αποτελεί τα πρότυπα προσομοίωσης της κυκλοφορίας. Παρακάτω αναφέρονται ενδεικτικά ορισμένα μικροσκοπικά, μεσοσκοπικά και μακροσκοπικά πρότυπα, τα οποία χρησιμοποιούνται εκτενώς σε εφαρμογές και λογισμικά προσομοίωσης της κυκλοφορίας.

### **Πρότυπο ακολουθούντος οχήματος του Gipps (Gipps, 1981)**

Το πρότυπο του Gipps (Gipps, 1981) αποτέλεσε τη βάση για ευρέως διαδεδομένα λογισμικά προσομοίωσης, όπως το Aimsun. Πρόκειται για μικροσκοπικό πρότυπο του οποίου η θεώρηση βασίζεται στο γεγονός ότι τα χαρακτηριστικά κίνησης κάθε οχήματος ορίζονται με βάση τα χαρακτηριστικά κίνησης του προπορευόμενου οχήματος. Είναι ένα πρότυπο συνεχούς χώρου και διακριτού χρόνου στο οποίο υπολογίζονται η θέση και η ταχύτητα του οχήματος ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Βασικές παράμετροι του προτύπου αυτού είναι η επιτάχυνση και η επιβράδυνση και σε αυτές θεωρείται ότι υπεισέρχονται ορισμένοι περιορισμοί. Πιο συγκεκριμένα, θεωρείται ότι η ταχύτητα των οχημάτων δεν δύναται να είναι μεγαλύτερη της επιθυμητής ταχύτητας των οδηγών και ότι η επιτάχυνση αυξάνεται με την εκκίνηση της μηχανής και στη συνέχεια τείνει στο μηδέν όσο η ταχύτητα τείνει στην τιμή της επιθυμητής ταχύτητας. Η θεώρηση αυτή εκφράζεται με την παρακάτω σχέση.

$$u_n(t + \tau) \leq u_n(t) + 2.5 a_n \tau \left(1 - \frac{u_n(t)}{V_n}\right) \left(0.025 + \frac{u_n(t)}{V_n}\right)^{1/2}$$

όπου:

$u_n(t)$  : η ταχύτητα του οχήματος  $n$  τη χρονική στιγμή  $t$

$a_n$  : η μέγιστη επιθυμητή επιτάχυνση του οχήματος  $n$

$\tau$  : ο χρόνος αντίδρασης (ισούται με 2/3 δευτ/τα και είναι σταθερός για όλα τα οχήματα)

$V_n$  : η επιθυμητή ταχύτητα του οχήματος  $n$

Σχετικά με τη επιβράδυνση, θεωρείται ότι αν κάποιο όχημα επιβραδύνει με τη μέγιστη επιθυμητή επιβράδυνσή του, τότε το όχημα που ακολουθεί θα δύναται να αντιδράσει με τέτοιο τρόπο ώστε να σταματήσει έγκαιρα. Αυτός ο περιορισμός εκφράζεται με την παρακάτω σχέση.

$$u_n(t + \tau) \leq b_n \tau + \sqrt{b_n^2 \tau^2 - b_n [2 [x_{n-1}(t) - s_{n-1} - x_n(t)] - u_n(t) \tau - \frac{u_{n-1}(t)^2}{\hat{b}}]}$$

όπου:

$b_n$  : η μέγιστη επιθυμητή επιβράδυνση του οχήματος  $n$  ( $b_n < 0$ )

$x_n(t)$  : η θέση του μπροστινού μέρους του οχήματος  $n$  τη χρονική στιγμή  $t$

$s_n$  : το ενεργό μήκος του οχήματος  $n$  (ισούται με το πραγματικό του μήκος προσαυξημένο με ένα διάστημα ασφαλείας το οποίο ο οδηγός επιθυμεί να κρατήσει από το προπορευόμενο όχημα)

$\hat{b}$  : εκτίμηση του μεγέθους  $b_{n-1}$  (διότι ο οδηγός του οχήματος  $n$  δε μπορεί να γνωρίζει την τιμή αυτή)

Η τελική ταχύτητα του οχήματος είναι η μικρότερη εκ των δύο ταχυτήτων που υπολογίζονται από τις παραπάνω σχέσεις. Σε περίπτωση που αυτή ισούται με την πρώτη τιμή, η ροή των

οχημάτων είναι τοπικά ελεύθερη ενώ σε περίπτωση που ισούται με τη δεύτερη, παρατηρείται τοπική συμφόρηση.

Όσον αφορά στη θέση του οχήματος  $n$  τη χρονική στιγμή  $t + \tau$ , αυτή υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$x_n(t + \tau) = x_n(t) + 0.5 [u_n(t) + u_n(t + \tau)] \tau$$

Ο Gipps (1986) έχει αναπτύξει επίσης και ένα μαθηματικό πρότυπο κυκλοφορίας το οποίο περιγράφει την κίνηση των οχημάτων επιτρέποντας τις αλλαγές λωρίδας (lane-changing model).

### **Πρότυπο αλλαγής λωρίδας του Gipps (Gipps, 1986)**

Το πρότυπο αυτό περιγράφει την απόφαση και την εκτέλεση αλλαγών λωρίδας από τους οδηγούς ως αποτέλεσμα τριών παραγόντων. Οι τρεις αυτοί παράγοντες αφορούν στη δυνατότητα, στην ανάγκη και στην επιθυμία για αλλαγή λωρίδας. Το πρότυπο περιλαμβάνει, επίσης, παράγοντες όπως η ύπαρξη ασφαλούς διάκενου, η ύπαρξη εμποδίων, η παρουσία βαρέων οχημάτων κ.ά.

Οι αιτίες αλλαγής λωρίδας από ένα όχημα, οι οποίες λαμβάνονται υπόψη από το πρότυπο, είναι ποικίλες και περιλαμβάνουν την αποφυγή μόνιμων εμποδίων, την αποφυγή ειδικών λωρίδων, τη στροφή σε κατάντη διασταύρωση, την αποφυγή της επιρροής ενός βαρέος οχήματος και την αύξηση της ταχύτητας.

Για τη λήψη της απόφασης αλλαγής λωρίδας εξετάζεται αν υπάρχει κάποια αιτία που αναγκάζει το όχημα να αλλάξει λωρίδα, όπως για παράδειγμα, η στροφή σε κατάντη διασταύρωση, και αν δε συντρέχει ανάγκη, εξετάζεται η επιθυμία του οδηγού η οποία σχετίζεται με τη βελτίωση της κυκλοφοριακής του κατάστασης. Ωστόσο, για να καταστεί δυνατή η αλλαγή λωρίδας θα πρέπει να υπάρχει το απαιτούμενο διάκενο ώστε να μπορεί να εκτελεστεί ο ελιγμός με ασφάλεια.

Όταν ένας οδηγός σκοπεύει να στρίψει σε κατάντη διασταύρωση, η συμπεριφορά του σε κάθε σημείο της διαδρομής καθορίζεται από την απόσταση του οχήματος από το σημείο στροφής. Όταν το σημείο στροφής βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση από το όχημα, δεν υπάρχει καμία επιρροή στη συμπεριφορά του και στην απόφασή του για αλλαγή λωρίδας. Συνεπώς, ο οδηγός επιλέγει σε ποια λωρίδα θα κινηθεί με σκοπό να διατηρήσει την

επιθυμητή του ταχύτητα. Όσο το όχημα πλησιάζει το σημείο στροφής μειώνεται το ενδιαφέρον του για διατήρηση της επιθυμητής του ταχύτητας και όταν φτάσει σε μια κοντινή απόσταση από το σημείο στροφής, επιλέγει είτε την κατάλληλη λωρίδα για την εκτέλεση της στροφής είτε την παρακείμενη σε αυτή λωρίδα.

Σε περίπτωση που δεν υπάρχει κάποιος παράγοντας που να αναγκάζει το όχημα να αλλάξει λωρίδα, τότε η απόφασή του σχετικά με το αν θα παραμείνει ή όχι στη λωρίδα στην οποία κινείται σχετίζεται με την εκτίμηση του οδηγού για την ταχύτητα με την οποία θα μπορεί να κινείται αν μεταβεί σε άλλη λωρίδα. Συνεπώς, αλλάζει λωρίδα αν θεωρεί ότι θα βελτιώσει την ταχύτητά του.

Στο πρότυπο αλλαγής λωρίδας του Gipps, η δυνατότητα εκτέλεσης ενός ελιγμού αλλαγής λωρίδας εκτιμάται με βάση την επιβράδυνση του οχήματος. Αν η απαιτούμενη επιβράδυνση για την εκτέλεση αλλαγής λωρίδας δεν είναι εντός ενός συγκεκριμένου εύρους, το οποίο καθορίζεται με βάση τη δυνατότητα πέδησης του οχήματος και την επιτακτικότητα της αλλαγής λωρίδας, τότε η αλλαγή λωρίδας καθίσταται αδύνατη.

### **Κυψελωτό αυτόματο πρότυπο των Nagel and Schreckenberg (1992)**

Το πρότυπο των Nagel and Schreckenberg (Nagel and Schreckenberg, 1992) είναι ένα μικροσκοπικό πρότυπο που αποτέλεσε τη βάση για όλα τα κυψελωτά αυτόματα πρότυπα (cellular automaton models) όπως αυτά έχουν εφαρμοστεί στην κυκλοφοριακή τεχνική. Σε αντίθεση με το πρότυπο του Gipps, το πρότυπο NaSch και γενικά όλα τα κυψελωτά αυτόματα πρότυπα είναι πρότυπα διακριτού χρόνου και διακριτού χώρου. Η κίνηση των οχημάτων με βάση τα πρότυπα cellular automaton δεν είναι ιδιαίτερα αντιπροσωπευτική της πραγματικής κίνησης των οχημάτων, παρ' όλα αυτά τα πρότυπα αυτά θεωρούνται σημαντικά γιατί σε μακροσκοπικό επίπεδο δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα και ταυτόχρονα, ενώ αποτελούν μικροσκοπικά πρότυπα, ο χρόνος προσομοίωσης είναι χαμηλός.

Βασική αρχή αποτελεί η ύπαρξη μίας μονοδιάστατης αλυσίδας-σειράς κελιών, τα κελιά της οποίας δύναται ή να είναι άδεια ή να καταλαμβάνονται από ένα μόριο. Η σειρά των κελιών αντιπροσωπεύει το εξεταζόμενο οδικό τμήμα και κάθε μόριο αποτελεί ένα όχημα. Κάθε μόριο-όχημα έχει ταχύτητα  $u$ , η οποία είναι ακέραιος αριθμός και δύναται να κυμαίνεται από 0 έως τη μέγιστη επιθυμητή ταχύτητα του οχήματος  $u_{max}$ . Η τιμή της ταχύτητας περιγράφει τον αριθμό των κελιών που δύναται να διανύσει ένα όχημα σε ένα χρονικό βήμα  $t$ . Το κάθε κελί δύναται να καταλαμβάνεται από ένα όχημα και το μήκος του ορίζεται ίσο με 7,5 μέτρα. Ο χρόνος χωρίζεται σε χρονικά βήματα τα οποία δύναται να κυμαίνονται από 0,6 έως 1,2

δευτερόλεπτα και αντιπροσωπεύουν τον χρόνο αντίδρασης του οδηγού. Η κίνηση των μορίων-οχημάτων στο χρόνο και το χώρο πραγματοποιείται με την κίνηση των μορίων από το ένα κελί στο επόμενο με βάση συγκεκριμένους κανόνες.

Με βάση το μαθηματικό πρότυπο, αρχικά προσδιορίζεται η θέση του προπορευόμενου οχήματος του εξεταζόμενου και υπολογίζεται ο χωρικός διαχωρισμός (μετράται ο αριθμός των άδειων κελιών μπροστά). Αν ο χωρικός διαχωρισμός των δύο οχημάτων είναι τέτοιος ώστε με την υπάρχουσα ταχύτητα του εξεταζόμενου οχήματος να υπάρξει σύγκρουση, η νέα ταχύτητα εξισώνεται με την τιμή του διαχωρισμού.

Κανόνας 1:

Αν  $u > gap$  (ανεπαρκής χώρος κατάντη), τότε η ταχύτητα μειώνεται σε  $u = gap$

Στην περίπτωση που η ταχύτητα του εξεταζόμενου οχήματος είναι μικρότερη του χωρικού διαχωρισμού από το προπορευόμενο όχημα και η ταχύτητα του οχήματος δύναται να αυξηθεί (είναι μικρότερη από τη μέγιστη επιθυμητή), αυξάνεται κατά μία μονάδα.

Κανόνας 2:

Αν  $u < gap$  (αρκετός χώρος κατάντη) και  $u < u_{max}$ , τότε αυξάνεται σε  $u = u + 1$

Ο τρίτος κανόνας εισάγει το τυχαίο-στοχαστικό στοιχείο στο πρότυπο και περιγράφει διακυμάνσεις της ταχύτητας, υπερβολικές επιβραδύνσεις και καθυστερημένες επιταχύνσεις, φαινόμενα τα οποία παρατηρούνται και στην πραγματική κίνηση των οχημάτων.

Κανόνας 3 (Τυχαιοποίηση):

Αν  $u > 0$ , τότε με πιθανότητα  $p$  η ταχύτητα μειώνεται σε  $u = u - 1$

Ο τέταρτος κανόνας περιγράφει την κίνηση των οχημάτων.

Κανόνας 4 (Αναπαραγωγή μορίων):

Το μόριο μετακινείται  $u$  κελιά μπροστά και η θέση  $x$  ισούται με  $x = x + u$

Επισημαίνεται ότι στα μεγέθη που χρησιμοποιούνται στο μαθηματικό πρότυπο δεν αντιστοιχούν πραγματικές μονάδες μέτρησης και γι'αυτό είναι δυνατή η σύγκριση του διαχωρισμού με την ταχύτητα, όπως περιγράφεται στους παραπάνω κανόνες.



**Cell transmission model (Daganzo, 1994):**

Πρόκειται για μακροσκοπικό πρότυπο που αναπτύχθηκε από τον Daganzo το 1994. Περιγράφει την ανάπτυξη της κυκλοφορίας στο χώρο και το χρόνο και παρουσιάζει φαινόμενα όπως ο σχηματισμός, η επέκταση και η εκκένωση των ουρών σε κόμβους. Θεωρείται ότι το τμήμα της οδού που εξετάζεται αποτελείται από σειρά κελιών και το μήκος κάθε κελιού ισούται με την απόσταση που διανύει ένα όχημα που κινείται με ταχύτητα ελεύθερης ροής σε ένα χρονικό βήμα. Κατά συνέπεια, σε συνθήκες ελεύθερης ροής όλα τα οχήματα που βρίσκονται στο εξεταζόμενο κελί προχωρούν στο επόμενο κελί. Αυτό περιγράφεται από την παρακάτω σχέση:

$$n_{i+1}(t + 1) = n_i(t)$$

όπου  $n_i(t)$  : πλήθος οχημάτων στο κελί  $i$  τη χρονική στιγμή  $t$

Σε συνθήκες μη ελεύθερης ροής σχηματίζονται ουρές και το πλήθος των οχημάτων που μπορούν να προχωρήσουν από ένα κελί στο επόμενο εξαρτάται και από τον ελεύθερο χώρο που υπάρχει στο επόμενο κελί. Συνεπώς υπεισέρχονται δύο ακόμη μεγέθη στη σχέση: η μέγιστη χωρητικότητα του κελιού  $N_i(t)$  και η μέγιστη κυκλοφοριακή ικανότητα από το ένα κελί στο επόμενο ή αλλιώς η ροή κορεσμού  $Q_i(t)$ . Έτσι, ο αριθμός των οχημάτων που καταλαμβάνουν ένα κελί τη χρονική στιγμή  $t + 1$  υπολογίζεται από τον αριθμό οχημάτων που καταλαμβάνουν το κελί τη χρονική στιγμή  $t$  προσαυξημένο με τη ροή εισόδου  $y_i(t)$  και αφαιρώντας τη ροή εξόδου  $y_{i+1}(t)$ .

$$n_{i+1}(t + 1) = n_i(t) + y_i(t) - y_{i+1}(t)$$

όπου  $y_i(t) = \min \{ n_{i-1}(t), Q_i(t), N_i(t) - n_i(t) \}$ .

**TRANSYT (Robertson, 1969)**

Το πρότυπο TRANSYT (Robertson, 1969) είναι ένα μεσοσκοπικό μαθηματικό πρότυπο, του οποίου η προσέγγιση, όσον αφορά στο επίπεδο ανάλυσης, είναι μακροσκοπική. Είναι ένα πρότυπο διακριτού χρόνου το οποίο δεν εμπεριέχει την έννοια του χώρου, δηλαδή η μετακίνηση κυκλοφοριακού φόρτου από το ανάντη άκρο ενός οδικού τμήματος/συνδέσμου στο κατόντη άκρο του γίνεται χωρίς να δίνεται πληροφόρηση για το πού βρίσκονται τα οχήματα εντός του συνδέσμου.

Η περιγραφή της κίνησης των οχημάτων πραγματοποιείται με τη χρήση ορισμένων προφίλ κυκλοφοριακών ροών. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται το κυκλοφοριακό προφίλ αφίξεων (IN profile), το οποίο περιγράφει τις αφίξεις ανάντη από την εξεταζόμενη γραμμή στάσης του κόμβου, το κυκλοφοριακό προφίλ αναχωρήσεων (OUT profile), το οποίο περιγράφει τις αναχωρήσεις από την εξεταζόμενη γραμμή στάσης του κόμβου και το κυκλοφοριακό προφίλ κορεσμού (GO profile), το οποίο περιγράφει τον κυκλοφοριακό φόρτο που θα αναχωρούσε από την εξεταζόμενη γραμμή στάσης του κόμβου αν υπήρχε αρκετός φόρτος ώστε να είναι κορεσμένη η πράσινη ένδειξη.

Οι μεταβλητές του προτύπου είναι η μέση ταχύτητα κίνησης των οχημάτων σε συνθήκες ελεύθερης ροής από την οποία υπολογίζεται το  $t$  (μέσος χρόνος διαδρομής στο εξεταζόμενο τμήμα), το χρονικό βήμα προσομοίωσης καθώς και η ροή κορεσμού του εξεταζόμενου τμήματος  $s_i$  που αποτελεί το GO profile. Η εξίσωση η οποία περιγράφει την κίνηση είναι επαναληπτική και είναι η εξής:

$$q'_{(i+t)} = Fq_i + (1 - F) q'_{(i+t-1)}$$

όπου:

$q'_i$  : η κυκλοφοριακή ροή στο χρονικό βήμα  $i$  του προφίλ των εισερχόμενων οχημάτων στο εξεταζόμενο οδικό τμήμα

$q_i$  : η κυκλοφοριακή ροή στο χρονικό βήμα  $i$  που εισέρχεται στο ανάντη τμήμα του εξεταζόμενου οδικού τμήματος

$t$  : α του μέσου χρόνου διαδρομής (σε βήματα) κατά μήκος του εξεταζόμενου οδικού τμήματος

$F$  : συντελεστής ομαλοποίησης, ο οποίος ισούται με  $\frac{1}{1+\beta t}$

Οι αρχικές τιμές που προέκυψαν από τους Vincent et al (1980) για τους συντελεστές  $\alpha$  και  $\beta$  κατά τη βαθμονόμηση του προτύπου, είναι  $\alpha = 0,8$  και  $\beta = 0,35$ .

Ο αριθμός των οχημάτων τα οποία σχηματίζουν ουρά στη γραμμή στάσης, με βάση τα οποία προκύπτει το κυκλοφοριακό προφίλ της ουράς αναμονής, υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$m_i = \max (0, m_{i-1} + q'_i - s_i)$$

όπου:

$m_i$  : ο αριθμός των οχημάτων σε ουρά στο χρονικό βήμα  $i$

$q'_i$  : ο αριθμός των οχημάτων που αφικνούνται στη γραμμή στάσης στο χρονικό βήμα  $i$  (IN profile)

$s_i$  : ο μέγιστος αριθμός οχημάτων που δύναται να αναχωρήσει από τη γραμμή στάσης στο χρονικό βήμα  $i$  (GO profile)

Ωστόσο, επειδή η υπολογιζόμενη ουρά αποτελείται από οχήματα τα οποία μπαίνουν στην ουρά όταν φτάσουν στο κατάντη άκρο του συνδέσμου, δεν έχει φυσικό μήκος και ονομάζεται κατακόρυφη ουρά (vertical queue).

Τέλος, σχετικά με τις τιμές του προφίλ αναχωρήσεων, ο αριθμός των οχημάτων που αναχωρεί από την γραμμή στάσης  $x_i$  στο χρονικό βήμα  $i$  είναι:

$$x_i = m_{i-1} + q'_i - m_i$$

Για τη διόρθωση των απλουστεύσεων που υιοθετούνται κατά την ανάλυση της κίνησης, χρησιμοποιούνται επιπρόσθετες σχέσεις για τον υπολογισμό του μεγέθους της συνολικής μέσης καθυστέρησης. Η συνολική μέση καθυστέρηση, που αφορά το άθροισμα της τυχαίας καθυστέρησης και της καθυστέρησης υπερκορεσμού σε ένα εξεταζόμενο οδικό τμήμα, ισούται με το άθροισμα αυτής που προκύπτει μέσω του κυκλοφοριακού προφίλ της ουράς αναμονής και της ακόλουθης:

$$\text{τυχαία καθυστέρηση και καθυστέρηση υπερκορεσμού} = \frac{T}{4} \left\{ \left[ (f - F)^2 + \frac{4f}{T} \right]^{1/2} + (f - F) \right\}$$

όπου:

$f$  : η μέση ροή αφίξεων στο εξεταζόμενο οδικό τμήμα (ΜΕΑ/ώρα)

$F$  : η μέγιστη ροή (ροή κορεσμού), που μπορεί να αναχωρήσει από τη γραμμή στάσης (ΜΕΑ/ώρα)

$T$  : η διάρκεια των συνθηκών ροής για την οποία εξετάζεται η σηματοδοτική ρύθμιση (ώρες)

### 2.2.2 Προγράμματα προσομοίωσης

Για την προσομοίωση των κυκλοφοριακών συστημάτων έχουν αναπτυχθεί και εξελίσσονται διαρκώς ποικίλα λογισμικά τα οποία γίνονται όλο και πιο γρήγορα και ισχυρά παρέχοντας μια

κατά το δυνατόν ρεαλιστική εικόνα του συστήματος. Υπάρχουν πολλά προγράμματα που χρησιμοποιούνται ευρέως, ορισμένα από τα οποία παρατίθενται παρακάτω.

#### AIMSUN (J.Barcelo και J.L.Ferrer, 1994)

Το Aimsun αναπτύχθηκε από τους J.Barcelo και J.L.Ferrer στο πολυτεχνείο της Βαρκελώνης και κυκλοφόρησε στην αγορά από την TSS – Transport Simulation Systems. Χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της κυκλοφορίας αστικών δικτύων, αυτοκινητοδρόμων και άλλων οδών, για το σχεδιασμό του αστικού περιβάλλοντος για οχήματα και πεζούς, για τη δυναμική πρόβλεψη μελλοντικών συνθηκών κυκλοφορίας βάσει της τρέχουσας κατάστασης του δικτύου, την αξιολόγηση στρατηγικών αντιμετώπισης περιστατικών ή διαχείρισης της κυκλοφορίας και τη λήψη αποφάσεων. Η κίνηση των οχημάτων προσομοιώνεται με βάση το μοντέλο ακολουθούστος οχήματος του Gipps, το μοντέλο αλλαγής λωρίδας και το μοντέλο αποδοχής διάκενου.

#### VISSIM (PTV, 2006)

Το πρόγραμμα Vissim αναπτύχθηκε από το πανεπιστήμιο της Καρλσρούης στη Γερμανία και κυκλοφόρησε στην αγορά από την εταιρία Planung Transport Verkehr AG. Είναι μέρος του πακέτου που περιλαμβάνει επίσης το Visum, για ανάλυση και πρόβλεψη της κυκλοφορίας, το Vistro, για βελτιστοποίηση της σηματοδότησης και το Viswalk για προσομοίωση της κίνησης πεζών. Το Vissim είναι ένα πρόγραμμα μικροσκοπικής προσομοίωσης, το οποίο χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της κυκλοφορίας διαφόρων τύπων οδών και επιτρέπει την αξιολόγηση νέων στρατηγικών και συστημάτων ελέγχου. Βασίζεται στο μοντέλο του Wiedermann το οποίο είναι μικροσκοπικό και περιλαμβάνει ένα πρότυπο ακολουθούστος οχήματος και ένα πρότυπο αλλαγής λωρίδας. Το μοντέλο είναι βασισμένο σε μετρήσεις και έρευνες πάνω στα χαρακτηριστικά της ανθρώπινης οδήγησης και χαρακτηρίζεται ως ένα μοντέλο ψυχο-φυσικής αντίληψης. Επιπλέον, το Vissim δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να αναπτύξει εφαρμογές και να επέμβει στο δίκτυο με τη χρήση κάποιας γλώσσας προγραμματισμού.

#### CORSIM (FHWA, 2005)

Το πρόγραμμα Corsim αναπτύχθηκε από την Ομοσπονδιακή Διοίκηση Οδικής Κυκλοφορίας (Federal Highway Administration) των ΗΠΑ ενώ επίσης συνέβαλαν και ορισμένα πανεπιστήμια και εταιρίες. Πλέον συντηρείται και εξελίσσεται από το πανεπιστήμιο της Φλόριντα. Πρόκειται για ένα πρόγραμμα προσομοίωσης για συστήματα σηματοδότησης και

οδικά δίκτυα, το οποίο αποτελείται από δύο μοντέλα μικροσκοπικής προσομοίωσης, τα NETSIM και FRESIM. Το NETSIM αναπαριστά την κυκλοφορία σε αστικές οδούς και το FRESIM σε αυτοκινητοδρόμους και ελεύθερες λεωφόρους. Το Corsim δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επιλέγει και να συσσωρεύει στατιστικά στοιχεία και δεδομένα κατά τη διάρκεια πολλαπλών εκτελέσεων, τα οποία καταγράφονται σε ένα αρχείο excel, csv (comma-separated values) ή tsv (tab-separated values).

#### PARAMICS (Smith et al., 1995)

Το Paramics είναι και αυτό ένα πρόγραμμα μικροσκοπικής προσομοίωσης το οποίο δημιουργήθηκε αρχικά από το Υπουργείο Μεταφορών του Ηνωμένου Βασιλείου στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και αναπτύχθηκε περαιτέρω από το πανεπιστήμιο του Εδιμβούργου και την Quadstone Paramics. Για την προσομοίωση της κίνησης κάθε μεμονωμένου οχήματος χρησιμοποιεί ένα μοντέλο ακολουθούστος οχήματος κι ένα μοντέλο αλλαγής λωρίδας βασισμένα στο άρθρο “A model for traffic simulation” του Hans-Thomas Fritzsche. Το πρόγραμμα χρησιμοποιείται από πανεπιστήμια, ερευνητικούς και κυβερνητικούς οργανισμούς για την προσομοίωση και ανάλυση της κυκλοφορίας και την επίλυση προβλημάτων σε αυτοκινητοδρόμους, κόμβους, σταθμούς διοδίων, δημόσια συγκοινωνία, ευφυή συστήματα μεταφορών, καθώς και περιβαλλοντικά θέματα που σχετίζονται με τις εκπομπές.

#### TRANSYT (Robertson, 1969)

Το πρόγραμμα TRANSYT βασίζεται στο μεσοσκοπικό πρότυπο TRANSYT το οποίο αναπτύχθηκε από τον Robertson το 1969 και περιγράφηκε στην ενότητα 2.2.1. Αποτελεί ένα πρόγραμμα κυκλοφοριακής προσομοίωσης και η βασική εφαρμογή του αφορά στο σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση των χρόνων σηματοδότησης σε αστικά οδικά δίκτυα.

#### SUMO

Το Sumo είναι ένα λογισμικό ανοικτού κώδικα το οποίο αναπτύχθηκε από το Κέντρο Αεροδιαστημικής της Γερμανίας (DLR) και χρησιμοποιείται για μικροσκοπική προσομοίωση. Στο πρόγραμμα αυτό η κίνηση των οχημάτων γίνεται ελεύθερα και είναι δυνατή και η προσομοίωση συγκρούσεων και ατυχημάτων. Η επιλογή της διαδρομής κάθε οχήματος είναι δυναμική και η συμπεριφορά των οχημάτων περιγράφεται με ένα μοντέλο ακολουθούστος οχήματος, ένα μοντέλο διασταύρωσης και ένα μοντέλο αλλαγής λωρίδας. Δε λαμβάνει

υπόψη διαφορετικούς τύπους οχημάτων αλλά μόνο το πλάτος του οχήματος το οποίο καθορίζεται από το χρήστη, όπως επίσης και το πλάτος των λωρίδων.

#### TRANSMODELER (Caliper, 2006)

Το TransModeler αναπτύχθηκε και διατέθηκε στην αγορά από την Caliper Corporation. Δίνει τη δυνατότητα μικροσκοπικής, μεσοσκοπικής και μακροσκοπικής προσομοίωσης και χρησιμοποιείται σε διάφορους τύπους οδικών δικτύων. Καθιστά δυνατή τη μοντελοποίηση αστικών οδών αλλά και αυτοκινητοδρόμων στο ίδιο δίκτυο και χρησιμοποιείται για τη μελέτη της δυναμικής και της απόδοσης των κυκλοφοριακών συστημάτων, το σχεδιασμό στρατηγικών εκκένωσης σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών και άλλες περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

#### DYNAMIT (Ben-Akiva et al., 2001)

Το DynaMIT είναι ένα πρόγραμμα μεσοσκοπικής προσομοίωσης το οποίο αναπτύχθηκε από το Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Μασαχουσέτης (M.I.T.). Προσφέρει λειτουργία πραγματικού χρόνου και μπορεί να υποστηρίξει ακόμα και μεγάλα μεγέθους δίκτυα. Χρησιμοποιείται για την εκτίμηση και πρόβλεψη κυκλοφοριακών συνθηκών καθώς και την ανάλυση στρατηγικών διαχείρισης κυκλοφορίας ή αξιολόγησης των κυκλοφοριακών επιπτώσεων έκτακτων συμβάντων. Το DynaMIT προσομοιώνει, μεταξύ άλλων, τη δυναμική φύση του δικτύου με τη χρήση δυναμικής ζήτησης και δυναμικών χαρακτηριστικών του δικτύου, τη δημιουργία και εκτόνωση ουρών, την αλληλεπίδραση ουρών που μπορεί να οδηγήσει σε συμφόρηση όταν η ουρά ξεπερνά το μήκος ενός συνδέσμου καθώς και τις επιπτώσεις της συμφόρησης. Στο πρόγραμμα αυτό παρακολουθείται η τροχιά κάθε οχήματος στο χώρο και το χρόνο και εξάγονται αναλυτικά δεδομένα ανάλογα με τις απαιτήσεις. Η κίνηση των οχημάτων γίνεται με βάση την ταχύτητα ανά κύκλο εκτέλεσης του μοντέλου, η οποία καθορίζεται από την επικρατούσα πυκνότητα στο ίδιο σημείο του δικτύου.

#### DYNASMART (Mahmassani, 2001)

Το πρόγραμμα Dynasmart αναπτύχθηκε στο κέντρο συγκοινωνιακών ερευνών του Πανεπιστημίου του Τέξας και δεν είναι διαθέσιμο εμπορικά. Είναι και αυτό ένα πρόγραμμα μεσοσκοπικής προσομοίωσης και χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό μεταφορικών συστημάτων, την αξιολόγηση της εφαρμογής ευφυών συστημάτων κυκλοφορίας, τη μοντελοποίηση των αλλαγών σε ένα δίκτυο που απορρέουν από τις αποφάσεις των μετακινούμενων αναζητώντας τη βέλτιστη διαδρομή, κ.ά.

### 2.2.3 Aimsun

Το Aimsun αναπτύχθηκε από τους J.Barcelo και J.L.Ferrer στο πολυτεχνείο της Βαρκελώνης και κυκλοφόρησε στην αγορά από την TSS – Transport Simulation Systems. Περιλαμβάνει ένα μικροσκοπικό, έναν μεσοσκοπικό και έναν υβριδικό προσομοιωτή με τους οποίους καθίσταται δυνατή η προσομοίωση αστικών δικτύων, αυτοκινητοδρόμων, περιφερειακών οδών κ.ά. με επίπεδο λεπτομέρειας ανάλογο των εκάστοτε απαιτήσεων.

Ο μικροσκοπικός προσομοιωτής εξετάζει τη συμπεριφορά κάθε οχήματος ξεχωριστά, όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 2.2.1, κατανέμοντας ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και ιδιότητες σε κάθε μονάδα του συστήματος. Η συμπεριφορά κάθε οχήματος περιγράφεται με τη χρήση μοντέλων όπως το μοντέλο ακολουθούντος οχήματος, το μοντέλο αλλαγής λωρίδας και το μοντέλο αποδοχής διάκενου. Το σύστημα μπορεί να διακρίνει διαφορετικούς τύπους οχημάτων και οδηγών δίνοντας σε αυτούς διαφορετικά χαρακτηριστικά για τη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς τους. Επίσης, επιτρέπει, ταυτόχρονα με την προσομοίωση οχημάτων, και προσομοίωση πεζών.

Ο μεσοσκοπικός προσομοιωτής αναπαριστά και αυτός την κίνηση των στοιχείων του συστήματος με χρήση μοναδιαίων στοιχείων, δηλαδή εξετάζει κάθε όχημα ξεχωριστά, αλλά τα μοντέλα που χρησιμοποιεί είναι απλοποιημένα σε σχέση με αυτά του μικροσκοπικού. Ως αποτέλεσμα, αναπαριστά την κίνηση των οχημάτων με λιγότερο ρεαλιστικό τρόπο.

Ο υβριδικός προσομοιωτής είναι χρήσιμος σε περιπτώσεις δικτύων μεγάλης κλίμακας καθώς δίνει τη δυνατότητα εφαρμογής μικροσκοπικής προσομοίωσης σε συγκεκριμένες περιοχές και μεσοσκοπικής στο υπόλοιπο δίκτυο, γεγονός που μειώνει τον απαιτούμενο υπολογιστικό χρόνο.

Δεδομένα εισόδου του προγράμματος αποτελούν το σενάριο προσομοίωσης και ένα σύνολο παραμέτρων της προσομοίωσης που ορίζουν το πείραμα. Τα στοιχεία που συνθέτουν το σενάριο είναι η περιγραφή του δικτύου, δεδομένα για την κυκλοφοριακή ζήτηση, δεδομένα για τυχόν προγράμματα ελέγχου κυκλοφορίας και στοιχεία για τη δημόσια συγκοινωνία. Τα δεδομένα εξόδου του προγράμματος περιλαμβάνουν μια συνεχή κινούμενη γραφική αναπαράσταση της απόδοσης του δικτύου σε δύο και τρεις διαστάσεις, στατιστικά δεδομένα για τον κυκλοφοριακό φόρτο, την ταχύτητα, το χρόνο μετακίνησης, την καθυστέρηση κ.ά., δεδομένα που συγκεντρώνονται από την προσομοίωση βρόχων ανίχνευσης (π.χ. κατάληψη,

ταχύτητα) και, στην περίπτωση της μικροσκοπικής προσομοίωσης, μια συνεχή κινούμενη αναπαράσταση των οχημάτων που προσομοιώνονται.

Εστιάζοντας στο μικροσκοπικό προσομοιωτή του Aimsun, που αποτελεί και εργαλείο της παρούσας εργασίας, αξίζει να αναφερθούν τα μοντέλα με βάση τα οποία προσομοιώνεται η κίνηση του οχήματος στο δίκτυο. Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται από το μικροσκοπικό προσομοιωτή του Aimsun είναι τα εξής:

**Μοντέλο ακολουθούντος οχήματος:** Το μοντέλο ακολουθούντος οχήματος που εφαρμόζεται από το Aimsun βασίζεται στο μοντέλο του Gipps, όπως περιγράφηκε στην ενότητα 2.2.1. με τη διαφορά ότι οι παράμετροι του μοντέλου δεν είναι καθολικές αλλά καθορίζονται από την επίδραση τοπικών παραμέτρων ανάλογα με τον τύπο του οδηγού, τη γεωμετρία του οδικού τμήματος, τα όρια ταχύτητας, την επίδραση των οχημάτων στις παρακείμενες λωρίδες κ.ά. Για παράδειγμα, η επιθυμητή ταχύτητα ενός οχήματος (συμβολίστηκε με  $V_n$  στο μοντέλο του Gipps) αφορά σε ένα συγκεκριμένο οδικό τμήμα και συνεπώς είναι τοπική παράμετρος, η οποία υπολογίζεται ως εξής:

$$v_{max_{n,s}} = \min (s_{lim_{n,s}}, v_{max_n})$$

όπου:

$v_{max_n}$ : η μέγιστη επιθυμητή ταχύτητα ενός οχήματος  $n$

$s_{lim_{n,s}}$ : το όριο ταχύτητας για ένα όχημα  $n$  σε οδικό τμήμα  $s$

$$s_{lim_{n,s}} = s_{lim_s} \cdot \theta_n$$

όπου:

$\theta_n$ : ένα μέγεθος που εκφράζει το επίπεδο συμμόρφωσης του οδηγού του οχήματος  $n$  με τα όρια ταχύτητας του οδικού τμήματος

**Μοντέλο αλλαγής λωρίδας:** Το μοντέλο αλλαγής λωρίδας του Aimsun μπορεί επίσης να θεωρηθεί μια εξέλιξη του αντίστοιχου μοντέλου του Gipps. Στο μοντέλο αυτό αναλύεται η αναγκαιότητα αλλαγής λωρίδας (π.χ. για πραγματοποίηση ελιγμού στροφής), η επιθυμία του οδηγού για αλλαγή λωρίδας (π.χ. για να κινηθεί με την επιθυμητή του ταχύτητα όταν το προπορευόμενο όχημα κινείται πιο αργά), και η δυνατότητα αλλαγής λωρίδας ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο οδικό τμήμα.



Η απόφαση του οδηγού προσδιορίζεται σε κάθε βήμα της προσομοίωσης με την εφαρμογή μιας διαδικασίας ερωτήσεων ως εξής:

Είναι απαραίτητη η αλλαγή λωρίδας;

Η απάντηση σε αυτή την ερώτηση εξαρτάται από τη δυνατότητα στροφής στην τρέχουσα λωρίδα, την απόσταση μέχρι την επόμενη στροφή και τις κυκλοφοριακές συνθήκες στη λωρίδα. Οι κυκλοφοριακές συνθήκες προσδιορίζονται με βάση την ταχύτητα και τα μήκη ουρών. Σε περίπτωση που η απάντηση είναι θετική, ακολουθούν δύο ακόμη ερωτήσεις.

Είναι επιθυμητή η αλλαγή λωρίδας;

Η απάντηση σε αυτή την ερώτηση καθορίζεται από την εκτίμηση του οδηγού σχετικά με το αν θα βελτιωθούν για εκείνον οι συνθήκες αλλάζοντας λωρίδα. Αν, για παράδειγμα, μπορεί να κινηθεί με μεγαλύτερη ταχύτητα στη νέα λωρίδα ή αν η ουρά είναι μικρότερη, τότε είναι επιθυμητή η πραγματοποίηση ελιγμού αλλαγής λωρίδας.

Είναι δυνατή η αλλαγή λωρίδας;

Η απάντηση σε αυτή την ερώτηση καθορίζεται από το αν υπάρχει επαρκές διάκενο για την πραγματοποίηση του ελιγμού αλλαγής λωρίδας με ασφάλεια. Υπολογίζοντας την πέδηση που θα επιβάλλει το επόμενο κατόπι όχημα στο όχημα που επιθυμεί να αλλάξει λωρίδα και την πέδηση που επιβάλλει αυτό στο επόμενο ανάντι όχημα, προσδιορίζεται αν η αλλαγή λωρίδας είναι δυνατή.

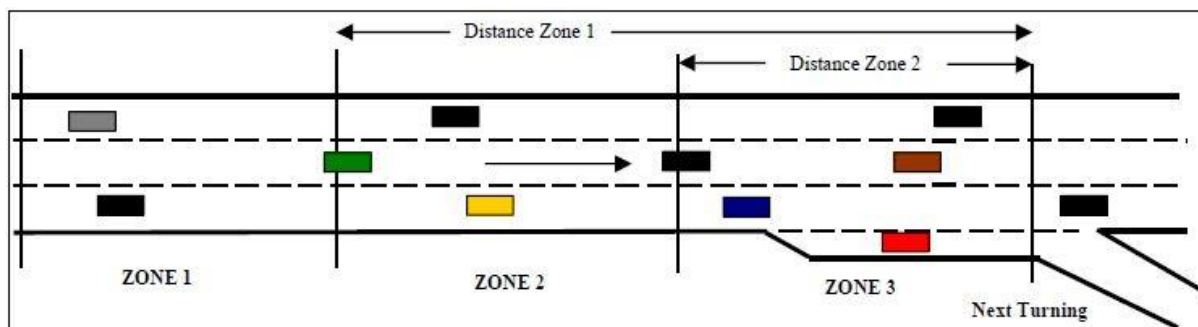
Προκειμένου να περιγραφεί ακριβέστερα η συμπεριφορά του οδηγού κατά τη διαδικασία αλλαγής λωρίδας, ορίζονται τρεις ζώνες σε ένα οδικό τμήμα, καθεμιά από τις οποίες συνδέεται με ένα διαφορετικό κίνητρο που οδηγεί το όχημα στην απόφαση για αλλαγή λωρίδας. Οι ζώνες αυτές χαρακτηρίζονται από την απόσταση από το τέλος του τμήματος, στο οποίο θεωρείται ότι πραγματοποιείται στροφή από το όχημα.

Ζώνη 1: Είναι η ζώνη που βρίσκεται σε μεγαλύτερη απόσταση από το σημείο στροφής. Η απόφαση του οδηγού για αλλαγή λωρίδας καθορίζεται κυρίως από τις κυκλοφοριακές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε λωρίδα και όχι από την πρόθεσή του να στρίψει στο τέλος του τμήματος. Ο οδηγός αλλάζει λωρίδα αν εκτιμά ότι θα βελτιώσει την ταχύτητά του μεταβαίνοντας στην άλλη λωρίδα.

Ζώνη 2: Πρόκειται για την ενδιάμεση ζώνη, στην οποία τα οχήματα αρχίζουν να επιχειρούν τη μετάβαση σε λωρίδες στις οποίες θα μπορέσουν στη συνέχεια να εκτελέσουν την

επιθυμητή στρέφουσα κίνηση. Στη ζώνη αυτή, τα οχήματα που αναζητούν διάκενα προκειμένου να αλλάξουν λωρίδα δεν επηρεάζουν τη συμπεριφορά των οχημάτων στις παρακείμενες λωρίδες.

Ζώνη 3: Είναι η ζώνη που βρίσκεται στη μικρότερη απόσταση από το σημείο στροφής και στην οποία τα οχήματα υποχρεούνται να αλλάξουν λωρίδα προκειμένου να μεταβούν σε λωρίδα που να επιτρέπει τη στρέφουσα κίνηση που επιθυμούν να εκτελέσουν. Τα οχήματα μειώνουν την ταχύτητά τους αν είναι απαραίτητο, ή μπορεί ακόμη και να ακινητοποιηθούν προσωρινά προκειμένου να μπορέσουν να αλλάξουν λωρίδα. Σε αντίθεση με τη ζώνη 2, τα οχήματα στις παρακείμενες λωρίδες ενδέχεται να τροποποιούν τη συμπεριφορά τους στην προσπάθειά τους να παρέχουν ένα επαρκές διάκενο στα οχήματα που προσπαθούν να εισέλθουν στη λωρίδα.



Εικόνα 2.4: Σχηματική αναπαράσταση των ζωνών που ορίζονται στο μοντέλο αλλαγής λωρίδας του Aimsun.

(Πηγή: Aimsun 7 Dynamic Simulators User's Manual, 2011)

Σε κάθε βήμα της προσομοίωσης, η θέση και η ταχύτητα κάθε οχήματος ενημερώνεται ως εξής: Εάν το όχημα πρέπει να αλλάξει λωρίδα, τότε εφαρμόζεται το μοντέλο αλλαγής λωρίδας, διαφορετικά, εάν το όχημα παραμένει στην ίδια λωρίδα, εφαρμόζεται το μοντέλο ακολουθούντος οχήματος.

**Μοντέλο αποδοχής διάκενου:** Δύο περιπτώσεις στις οποίες εφαρμόζεται το μοντέλο αποδοχής διάκενου στο Aimsun είναι η αλλαγή λωρίδας και η παραχώρηση προτεραιότητας. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, για να πραγματοποιήσει ένα όχημα ελιγμό αλλαγής λωρίδας ελέγχεται αρχικά αν αυτό είναι απαραίτητο και κατόπιν αν είναι επιθυμητό και δυνατό. Το μοντέλο αποδοχής διάκενου εφαρμόζεται προκειμένου να απαντηθεί εάν είναι δυνατή η αλλαγή λωρίδας, δηλαδή αν το διάκενο είναι αποδεκτό.

Παρακάτω παρατίθεται ο αλγόριθμος που εφαρμόζεται από το Aimsun για την αποδοχή διάκενου για αλλαγή λωρίδας (Barcelo και Casas, 2005):

Βρες το κατάντη και το ανάντη όχημα στην επιθυμητή λωρίδα

Υπολόγισε το διάκενο μεταξύ των οχημάτων κατάντη και ανάντη

**Υπόθεση:** το διάκενο είναι μεγαλύτερο του μήκους του οχήματος, **τότε**

- Υπολόγισε την απόσταση μεταξύ του οχήματος και του κατάντη οχήματος στην επιθυμητή λωρίδα
- Υπολόγισε την ταχύτητα που επιβάλλεται στο όχημα από το κατάντη όχημα, σύμφωνα με το μοντέλο ακολουθούντος οχήματος του Gipps

**Υπόθεση:** η επιβαλλόμενη ταχύτητα είναι αποδεκτή από το όχημα, **τότε**

- Υπολόγισε την απόσταση μεταξύ του οχήματος και του ανάντη οχήματος στην επιθυμητή λωρίδα
- Υπολόγισε την ταχύτητα που επιβάλλεται από το όχημα στο ανάντη όχημα, σύμφωνα με το μοντέλο ακολουθούντος οχήματος του Gipps

**Υπόθεση:** η επιβαλλόμενη ταχύτητα είναι αποδεκτή από το ανάντη όχημα, **τότε**

- Η αλλαγή λωρίδας είναι δυνατή
- Εκτέλεσε αλλαγή λωρίδας

**Διαφορετικά,**

- Το διάκενο δεν είναι αποδεκτό λόγω του ανάντη οχήματος

**Τέλος Υπόθεσης**

**Διαφορετικά,**

- Το διάκενο δεν είναι αποδεκτό λόγω του κατάντη οχήματος

**Τέλος Υπόθεσης**

**Διαφορετικά,**

- Δεν υπάρχει διάκενο για το όχημα

**Τέλος Υπόθεσης**

Στην προσομοίωση της συμπεριφοράς των οδηγών σε περιπτώσεις παραχώρησης προτεραιότητας, το μοντέλο αποδοχής διάκενου χρησιμοποιείται για να καθορίσει αν ένα όχημα χαμηλότερης προτεραιότητας θα διασχίσει έναν κόμβο ή, αντίστοιχα, αν ένα όχημα που αναμένει σε έναν κλάδο εισόδου ενός αυτοκινητοδρόμου θα εισέλθει σε αυτόν. Οι σημαντικότερες παράμετροι του μοντέλου είναι ο βαθμός επιτάχυνσης, η απόσταση ορατότητας και ο μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας. Ο μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας καθορίζει το χρονικό διάστημα πάνω από το οποίο ο οδηγός που περιμένει να βρει το κατάλληλο διάκενο γίνεται ανυπόμονος με αποτέλεσμα να αποδέχεται μικρότερα διακείνα.

Παρακάτω παρατίθεται ο αλγόριθμος που εφαρμόζεται από το Aimsun για την αποδοχή διάκενου σε κόμβους προτεραιότητας (Barcelo και Casas, 2005):

Δεδομένου ενός οχήματος (VEHY) που προσεγγίζει μια διασταύρωση παραχώρησης προτεραιότητας,

**Βήμα 1:** Βρες το πλησιέστερο όχημα υψηλότερης προτεραιότητας (VEHP),

**Βήμα 2:** Καθόρισε το θεωρητικό σημείο σύγκρουσης (TCP),

**Βήμα 3:** Υπολόγισε το χρόνο (TP1) που χρειάζεται το VEHY για να φτάσει το TCP,

**Βήμα 4:** Υπολόγισε τον εκτιμώμενο χρόνο (ETP1) που χρειάζεται το VEHP για να φτάσει το TCP,

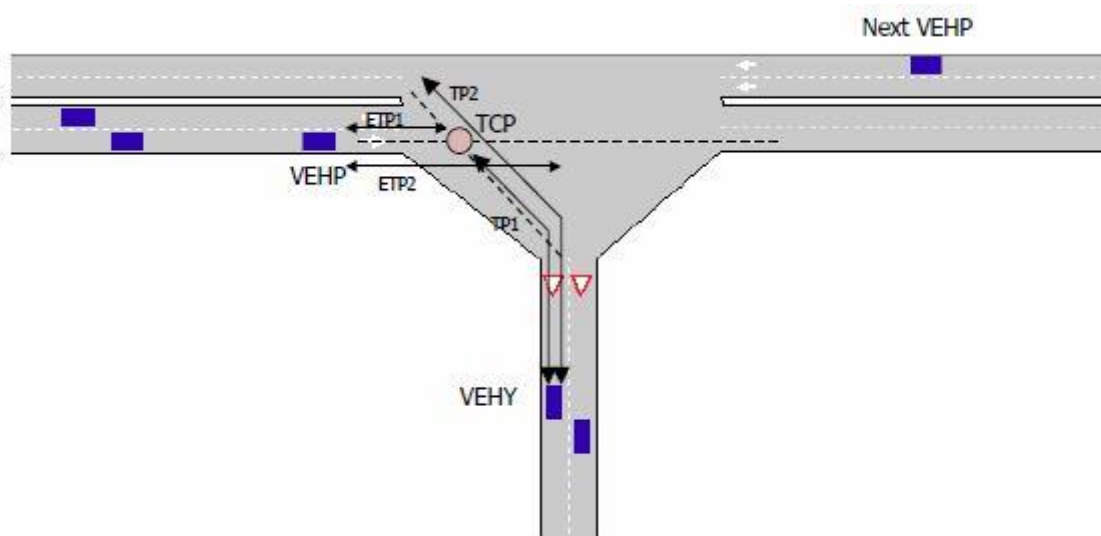
**Βήμα 5:** Υπολόγισε το χρόνο (TP2) που χρειάζεται το VEHY για να διασχίσει το TCP,

**Βήμα 6:** Υπολόγισε τον εκτιμώμενο χρόνο (ETP2) που χρειάζεται το VEHP για να εκκενώσει τη διασταύρωση,

**Υπόθεση:** TP2 (συν ένα περιθώριο ασφάλειας) είναι μικρότερο του ETP1, το όχημα VEHY έχει αρκετό χρόνο για να διασχίσει τη διασταύρωση και συνεπώς επιταχύνει και διασχίζει.

**Διαφορετικά, εάν** ETP2 (συν ένα περιθώριο ασφάλειας) είναι μικρότερο του TP1, το όχημα VEHP θα έχει ήδη διασχίσει το TCP όταν το όχημα VEHY φτάσει σε αυτό, τότε αναζήτησε το επόμενο πλησιέστερο όχημα υψηλότερης προτεραιότητας και πήγαινε στο Βήμα 2.

**Διαφορετικά,** το όχημα VEHY πρέπει να παραχωρήσει προτεραιότητα, επιβραδύνοντας και σταματώντας, αν είναι απαραίτητο.



Εικόνα 2.5: Σχηματική αναπαράσταση των στοιχείων του αλγόριθμου για την αποδοχή διάκενου σε κόμβους προτεραιότητας.

(Πηγή: Barcelo και Casas, 2005)

### 2.3 Η χρήση της ΛΕΑ στην Ελλάδα και το Εξωτερικό

Η λωρίδα έκτακτης ανάγκης (ΛΕΑ) είναι η άκρα δεξιά λωρίδα για χώρες που οδηγούν στα δεξιά και η άκρα αριστερά σε χώρες που οδηγούν στα αριστερά. Διαχωρίζεται με συνεχή διαγράμμιση και προορίζεται αποκλειστικά για την κίνηση οχημάτων έκτακτης ανάγκης (ασθενοφόρα, πυροσβεστικά, περιπολικά) καθώς και των αρμόδιων οχημάτων λειτουργίας και συντήρησης.

Όπως ορίζεται από τον ΚΟΚ στο άρθρο 29, η χρήση της ΛΕΑ από οχήματα πέραν των οχημάτων έκτακτης ανάγκης συνιστά παράβαση και τιμωρείται με πρόστιμο 200 ευρώ, αφαίρεση πινακίδας και άδειας οδήγησης. Η στάση στη ΛΕΑ επιτρέπεται μόνο σε περίπτωση ανάγκης ή σε περίπτωση βλάβης του οχήματος καθώς και σε σχετική υπόδειξη της τροχαίας. Ωστόσο, οι παραβάσεις που αφορούν στη χρήση της ΛΕΑ στην Ελλάδα είναι ένα μάλλον σύνηθες φαινόμενο σε περιπτώσεις ιδιαίτερα αυξημένου κυκλοφοριακού φόρτου.

Πραγματοποιώντας μια αναφορά στις διάφορες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί πάνω στο θέμα της χρήσης της ΛΕΑ σε αυτοκινητοδρόμους, παρατίθενται διάφορες οπτικές και συμπεράσματα. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι οι έρευνες αυτές αναφέρονται σε περιπτώσεις χωρών στο εξωτερικό όπου η χρήση της ΛΕΑ δύναται να εφαρμόζεται και ως μέτρο για την αποσυμφόρηση τμημάτων αυτοκινητοδρόμων και συνεπώς γίνεται οργανωμένα και όχι κατά παράβαση του κώδικα οδικής κυκλοφορίας, όπως συμβαίνει στην Ελλάδα.

Οι Chase και Avineri (2008) διερεύνησαν τη στάση της κοινής γνώμης στο Ηνωμένο Βασίλειο πριν την πιλοτική εφαρμογή της μεθόδου στον αυτοκινητόδρομο M42. Αυτό έγινε με βάση συνεντεύξεις που διεξήχθησαν με εκπροσώπους των χρηστών της οδού και με τη συλλογή υλικού όπως άρθρα και άλλα κείμενα των μέσων ενημέρωσης με στόχο να αξιολογηθεί ο τρόπος πληροφόρησης του κοινού για την εφαρμογή της μεθόδου. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η στάση των ενδιαφερόμενων απέναντι στα μειονεκτήματα ήταν ισχυρότερη από αυτή απέναντι στα πλεονεκτήματα. Τα πλεονεκτήματα που αναγνώριζαν αφορούσαν στην αύξηση της κυκλοφοριακής ικανότητας και την πιθανή μείωση της συμφόρησης ενώ επίσης θεωρούσαν πιθανή και τη μείωση των ατυχημάτων ως αποτέλεσμα της ρύθμισης της κυκλοφοριακής ροής. Κυριότερη ανησυχία αποτελούσε η ασφάλεια των οχημάτων που έχουν υποστεί βλάβη κι έχουν καταφύγει στις περιοχές έκτακτης ανάγκης. Αυτό οφείλονταν στο γεγονός ότι το μήκος των περιοχών αυτών είναι μικρό για να μπορέσει το όχημα να επιταχύνει και να επανενταχθεί στην κυκλοφορία καθώς και για να γίνουν οι

απαραίτητες ενέργειες για την αντιμετώπιση της βλάβης. Ως ανησυχία ανέφεραν επίσης το ενδεχόμενο αύξησης των χρόνων απόκρισης σε περιπτώσεις ανάγκης λόγω της δυσκολίας πρόσβασης, ενώ τέλος, επεσήμαιναν το ενδεχόμενο σύγχυσης του οδηγού σχετικά με τη χρήση της ΛΕΑ και το πώς αυτό θα επηρέαζε τη γενικότερη οδηγική του συμπεριφορά. Ωστόσο, συμπέραναν ότι ορισμένες από τις προαναφερθείσες αντιλήψεις σχετικά με την εφαρμογή της μεθόδου θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν με τη σωστή ενημέρωση και εκπαίδευση των οδηγών ενώ σε ό,τι αφορά στην ασφάλεια θα έπρεπε να γίνουν δοκιμές και πειράματα (π.χ για να διαπιστωθεί πόσο γρήγορα μπορούν να απομακρυνθούν τα οχήματα από τη ΛΕΑ μέσω των πινακίδων μεταβλητών μηνυμάτων σε περίπτωση ανάγκης).

Σε έρευνα του Πανεπιστημίου του Τέξας (Waller et al., 2009) διερευνήθηκε η δυνατότητα χρήσης της ΛΕΑ σε περιόδους αιχμής σε αυτοκινητοδρόμους του Τέξας, σε συνδυασμό και με δυναμικές αλλαγές των ορίων ταχύτητας σε συγκεκριμένα σημεία. Χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό μικροσκοπικής και μεσοσκοπικής προσομοίωσης διερευνήθηκαν οι επιπτώσεις που αναμένονται στο οδικό τμήμα εφαρμογής του συγκεκριμένου μέτρου αλλά και συνολικά στο δίκτυο το οποίο επηρεάζεται. Σε σχέση με τη διαχείριση της κυκλοφορίας μέσω μεταβλητών ορίων ταχύτητας, η ομογενοποίηση των ταχυτήτων είχε ως αποτέλεσμα λιγότερους ελιγμούς αλλαγής λωρίδας και λιγότερα σταματήματα-ξεκινήματα (stop and go), γεγονός που πιθανόν συμβάλλει στη βελτίωση της οδικής ασφάλειας, ενώ επίσης, οδηγεί και σε μείωση των εκπομπών ρύπων και της κατανάλωσης καυσίμου. Σχετικά με τη χρήση της ΛΕΑ ως επιπλέον λωρίδας, τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων έδειξαν ότι, σε συνδυασμό με τις δυναμικές αλλαγές των ορίων ταχύτητας μέσω πινακίδων μεταβλητών ορίων ταχύτητας, δεν είχε σημαντική επίδραση στη συνολική ικανότητα του αυτοκινητοδρόμου, ενώ επίσης, παρατηρήθηκε μείωση της ταχύτητας στο τμήμα εφαρμογής και συνεπώς αύξηση του χρόνου διαδρομής. Επιπλέον, η ξαφνική μείωση των λωρίδων, στο τέλος του τμήματος εφαρμογής της χρήσης της ΛΕΑ, προκαλούσε συμφόρηση και τα οχήματα που προσπαθούσαν να μεταβούν από τη ΛΕΑ στις κανονικές λωρίδες εμπόδιζαν την κυκλοφορία.

Σε έρευνα που διεξήχθη στη Γαλλία (Aron et al., 2010), η διερεύνηση των επιπτώσεων της χρήσης της ΛΕΑ σε δύο τμήματα πλέξης του αυτοκινητοδρόμου A86 με παρόμοιες κυκλοφοριακές συνθήκες αλλά διαφορετικές συνθήκες ασφάλειας και διαχείρισης έδειξε ότι η επίδραση ήταν διαφορετική. Στο τμήμα A3 – A86 η ΛΕΑ παρέμενε ενεργή και διαθέσιμη στους οδηγούς όλη τη διάρκεια της ημέρας, ενώ στο τμήμα A4 – A86 η είσοδος στη ΛΕΑ επιτρεπόταν μόνο σε περιόδους κατά τις οποίες η τιμή της κατάληψης ανάντη του τμήματος ήταν υψηλή. Και στις δύο περιπτώσεις μειώθηκε το πλάτος των κανονικών λωρίδων από 3,5

σε 3,2 μέτρα και αυξήθηκε το πλάτος της ΛΕΑ από 2 σε 3 μέτρα. Επίσης, για την ενίσχυση της ασφάλειας της οδού είχαν τοποθετηθεί τηλέφωνα έκτακτης ανάγκης, πινακίδες μεταβλητών μηνυμάτων και κάμερες ανίχνευσης συμβάντων. Η ανάλυση βασίστηκε σε κυκλοφοριακά δεδομένα και σε καταγραφές ατυχημάτων για μια περίοδο πριν και μια περίοδο μετά την εφαρμογή του μέτρου. Για την ανάλυση του τμήματος Α3 – Α86, τα μεγέθη που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η κυκλοφοριακή ικανότητα, για την οποία παρατηρήθηκε τοπική αύξηση, και ο χρόνος διαδρομής, ο οποίος μειώθηκε κατά 2% ανά όχημα. Σχετικά με τον αριθμό των ατυχημάτων, παρατηρήθηκε μείωση των θανατηφόρων ατυχημάτων και αύξηση των ατυχημάτων με υλικές μόνο ζημιές. Στο τμήμα Α4 – Α86 τα μεγέθη που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η ταχύτητα ελεύθερης ροής, η κυκλοφοριακή ικανότητα, η τοπική ταχύτητα και ο βαθμός κορεσμού. Σε αυτή την περίπτωση, ενώ παρατηρήθηκε αύξηση της ικανότητας τις περιόδους που η ΛΕΑ ήταν ανοιχτή, παρατηρήθηκε μείωση τις ώρες που ήταν κλειστή, γεγονός που οφείλεται κυρίως στη μείωση του πλάτους των λωρίδων. Στην πρώτη περίπτωση η βελτίωση ήταν μόνο τοπική και η συμφόρηση μετατοπίζονταν κατάντη του τμήματος ενώ στη δεύτερη περίπτωση δεν παρατηρήθηκε επέκταση της συμφόρησης κατάντη. Επίσης, στο τμήμα του Α4 ανάντη του τμήματος πλέξης παρατηρήθηκε σημαντική βελτίωση των συνθηκών τις ώρες που ήταν ανοιχτή η ΛΕΑ και μείωση της συμφορημένης ζώνης κατά 1,5 χλμ. Ως συμπέρασμα προέκυψε ότι η αποτελεσματικότητα της χρήσης της ΛΕΑ για τη μείωση της συμφόρησης εξαρτάται από τη διαμόρφωση του κατάντη τμήματος και ότι η συνεχής χρήση της ΛΕΑ ως επιπλέον λωρίδας εισάγει επιπλέον κίνηση στο τμήμα μετατοπίζοντας τη συμφόρηση κατάντη.

Ο Geistefeldt (2012) μελέτησε την εφαρμογή της χρήσης της ΛΕΑ ως μέτρο αποσυμφόρησης αναλύοντας τα χαρακτηριστικά της κυκλοφοριακής ροής σε δύο αυτοκινητοδρόμους τριών λωρίδων στη Γερμανία. Τα κυκλοφοριακά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προήλθαν από βρόχους ανίχνευσης των αυτοκινητοδρόμων Α3 και Α5. Η ανάλυση του διαγράμματος ταχύτητας-φόρτου έδειξε αύξηση του μέγιστου φόρτου κατά 1000 οχ./ώρα και μείωση της ταχύτητας για χαμηλούς φόρτους, γεγονός που πιθανόν οφείλεται στη μείωση του πλάτους των λωρίδων. Η ανάλυση της κατανομής της κυκλοφοριακής ροής ανά λωρίδα έδειξε ότι οι οδηγοί βαρέων οχημάτων τείνουν να είναι περισσότερο πρόθυμοι να χρησιμοποιήσουν τη ΛΕΑ όταν αυτή είναι ανοικτή, σε αντίθεση με τους οδηγούς επιβατηγών αυτοκινήτων οι οποίοι δεν την επιλέγουν σε μεγάλο ποσοστό, συγκριτικά με το αντίστοιχο ποσοστό που παρατηρείται συνήθως στη δεξιά λωρίδα ενός αυτοκινητοδρόμου τεσσάρων λωρίδων. Η στοχαστική ανάλυση που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της κυκλοφοριακής ικανότητας, κατά τις περιόδους χρήσης της ΛΕΑ, υπέδειξε σημαντική αύξηση της τάξης του 20-25%, χωρίς όμως να φτάνει την ικανότητα ενός αυτοκινητοδρόμου τεσσάρων λωρίδων, γεγονός

που πιθανόν οφείλεται στα χαμηλά ποσοστά των επιβατηγών οχημάτων που επιλέγουν να χρησιμοποιήσουν τη ΛΕΑ. Η συνολική διάρκεια της συμφόρησης ανά έτος μειώθηκε έως και 90% ενώ, επίσης, η στατιστική ανάλυση των ατυχημάτων έδειξε πως με τη χρήση των κατάλληλων συστημάτων ελέγχου και πληροφόρησης, δε μειώνεται η ασφάλεια της οδού.

Οι Guerrieri και Mauro (2016) μελέτησαν την περίπτωση του αυτοκινητοδρόμου A22 στην Ιταλία στον οποίο επρόκειτο να εφαρμοστεί η χρήση της ΛΕΑ σε ένα τμήμα μήκους 128 χλμ. Ως μέθοδος αποσυμφόρησης και με στόχο τη βελτίωση της στάθμης εξυπηρέτησης. Εκτίμησαν τις αναμενόμενες συνθήκες σε ό,τι αφορά στην κυκλοφοριακή ικανότητα και την ασφάλεια της οδού σύμφωνα με το Highway Capacity Manual (HCM) και το Highway Safety Manual (HSM) και σύγκριναν με τις επικρατούσες συνθήκες πριν την εφαρμογή της χρήσης της ΛΕΑ. Επίσης πραγματοποίησαν και ανάλυση ευαισθησίας για να ποσοτικοποιηθούν οι αναμενόμενες αλλαγές στη συχνότητα των συγκρούσεων ανάλογα με τις ώρες χρήσης της ΛΕΑ ετησίως (από 30 ως 200 ώρες το χρόνο). Η λειτουργική ανάλυση έγινε με χρήση μακροσκοπικών μοντέλων και τα μεγέθη που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η κυκλοφοριακή ικανότητα, η πυκνότητα και η μέση ταχύτητα. Τα αποτελέσματα έδειξαν αξιοσημείωτη αύξηση της κυκλοφοριακής ικανότητας της τάξης του 35% στη μια κατεύθυνση και 27% στην άλλη ενώ η ανάλυση του επιπέδου ασφάλειας με και χωρίς χρήση της ΛΕΑ έδειξε αμελητέες μεταβολές (το πολύ 0,28%) στη συχνότητα συγκρούσεων για 200 ώρες χρήσης της ΛΕΑ ετησίως. Επιπλέον, εντοπίστηκαν οι περιπτώσεις στις οποίες η υιοθέτηση των κατάλληλων ορίων ταχύτητας με συστήματα μεταβλητών ορίων ταχύτητας (VSL) μπορεί να αυξήσει την ικανότητα της οδού και να μειώσει τις αλλαγές λωρίδας που εκτελούν οι οδηγοί και προτάθηκε ένα σύστημα συντονισμένων προγραμμάτων ελέγχου της ταχύτητας το οποίο μπορεί να συνδυαστεί με τη χρήση της ΛΕΑ για την αύξηση της κυκλοφοριακής ικανότητας.

Μια άλλη οπτική του θέματος εξέτασαν οι Ma et al. (2016) προτείνοντας τη δυναμική χρήση της ΛΕΑ για τη διαχείριση έκτακτων συμβάντων, δηλαδή την αντιμετώπιση της συμφόρησης που μπορεί να προκαλέσει ένα συμβάν, όπως ένα ατύχημα. Για τις ανάγκες της έρευνας χρησιμοποιήθηκε μικροσκοπική προσομοίωση και οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των σεναρίων ήταν ο βαθμός κορεσμού, ο αριθμός λωρίδων της οδού, ο αριθμός των λωρίδων που εμποδίζει το συμβάν, το μήκος του τμήματος της ΛΕΑ που ανοίγει ανάντη και κατόντη του συμβάντος και η διάρκεια κατά την οποία παραμένει ανοιχτό το τμήμα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν έδειξαν ότι η δυναμική χρήση της ΛΕΑ είναι περισσότερο κατάλληλη για την αντιμετώπιση συμβάντων με υλικές μόνο ζημιές. Σχετικά με το μήκος του τμήματος της ΛΕΑ που χρειάζεται να ανοίγει για την αντιμετώπιση ενός συμβάντος, προέκυψε ότι μόνο μισό μίλι ανάντη και κατόντη του συμβάντος είναι αρκετό,



καθώς το άνοιγμα μεγαλύτερου τμήματος δεν βελτιώνει περαιτέρω τις κυκλοφοριακές συνθήκες. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι, ανάλογα με τις κυκλοφοριακές συνθήκες και τον αριθμό των λωρίδων που εμποδίζονται από το συμβάν, η μέση καθυστέρηση βελτιώνονταν από 30% έως 80% και ο αριθμός των οχημάτων που διέρχονται από τη διατομή της οδού αυξάνεται από 15% ως 40%.



### **3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

Στο παρόν κεφάλαιο αναπτύσσεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στα πλαίσια της εργασίας αυτής και περιγράφονται ξεχωριστά τα στάδια της διαδικασίας. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφεται ο σχεδιασμός του δικτύου στο περιβάλλον του λογισμικού Aimsun, ο καθορισμός και ο σχεδιασμός των σεναρίων, η εκτέλεση των προσομοιώσεων και η εξαγωγή των αποτελεσμάτων τους.

#### **3.1 Το Δίκτυο**

##### **3.1.1 Γενικά Στοιχεία Ολυμπίας Οδού**

Η Ολυμπία Οδός είναι ο αυτοκινητόδρομος που συνδέει Ελευσίνα, Κόρινθο και Πάτρα και έχει συνολικό μήκος 201,5 χλμ. Η κατασκευή του αποτέλεσε μια ιδιαίτερα απαιτητική διαδικασία, γεγονός που οφείλεται στο ασταθές γεωλογικό περιβάλλον κυρίως του τμήματος Κόρινθος-Πάτρα, στο οποίο χρειάστηκαν περίπου 400 αντιστηρίξεις. Περιλαμβάνει 350 μεγάλα τεχνικά έργα, μεταξύ των οποίων γέφυρες, σήραγγες, άνω και κάτω διαβάσεις, και διαθέτει 29 ανισόπεδους κόμβους.

Η Ολυμπία Οδός διασφαλίζει την εξυπηρέτηση των οδηγών και τη διατήρηση της ασφάλειας της οδού παρέχοντας σε αρκετά σημεία σταθμούς εξυπηρέτησης αυτοκινητιστών (ΣΕΑ), πάρκινγκ και WC, τηλέφωνα SOS, περίπολα και ομάδες επέμβασης σε περιπτώσεις ανάγκης καθώς και δύο Κέντρα Διαχείρισης της Κυκλοφορίας, στη Ν. Πέραμο και το Ρίο, για το συντονισμό των απαιτούμενων ενεργειών. Επίσης, με την επιτέλεση τακτικών προληπτικών και διορθωτικών επεμβάσεων συντήρησης που αφορούν στην οδική υποδομή και τον ηλεκτρομηχανικό εξοπλισμό εξασφαλίζει συνεχώς την ορθή λειτουργία του αυτοκινητοδρόμου.

Στον Πίνακα 3.1 παρατίθενται τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά της Ολυμπίας Οδού.

Πίνακας 3.1: Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά Ολυμπίας Οδού.

(Πηγή: Ολυμπία Οδός)

	Ελευσίνα- Κόρινθος	Κόρινθος- Πάτρα	Περιμετρική Πατρών	Σύνολο
Ανισόπεδοι Κόμβοι	11	13	5	29
Άνω Διαβάσεις	13	22	3	38
Κάτω Διαβάσεις	37	140	27	204
Γέφυρες	16	47	17	80
Σήραγγες	5	12	12	29
Σύνολο μήκους σηράγγων (μ)	4473	16011	5117	25601
Οχετοί	154	165	50	369
ΣΕΑ	1	5	0	6
Μήκος Τμήματος (χλμ)	63,2	120	18,3	201,5

### 3.1.2 Οδικό τμήμα μελέτης

Το οδικό δίκτυο που σχεδιάστηκε για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας αποτελείται από έναν άξονα αυτοκινητοδρόμου, και συγκεκριμένα της Ολυμπίας Οδού, που περιλαμβάνει τρεις λωρίδες και μια λωρίδα έκτακτης ανάγκης.

Το τμήμα αυτό βρίσκεται μεταξύ της σήραγγας «Θησέας» και των διοδίων της Ελευσίνας με κατεύθυνση προς Αθήνα και έχει συνολικό μήκος 19,4 χλμ. Αποτελείται από τρεις λωρίδες και μια λωρίδα έκτακτης ανάγκης, η οποία σε ορισμένα σημεία διακόπτεται. Το πλάτος της δεξιά και της μεσαίας λωρίδας είναι 3,75 μέτρα και η αριστερή έχει πλάτος 3,5 μέτρα. Το πλάτος της ΛΕΑ κυμαίνεται από 2,5 έως 3 μέτρα.

Περιλαμβάνει τρεις ανισόπεδους κόμβους, της Πάχης, των Μεγάρων και της Ν.Περάμου και δύο πλευρικούς σταθμούς διοδίων, στην Πάχη και στη Ν.Πέραμο. Επίσης, διαθέτει ένα σταθμό εξυπηρέτησης αυτοκινητιστών (ΣΕΑ) και ένα πάρκινγκ. Για το τμήμα αυτό έχει παρατηρηθεί ότι, σε περιπτώσεις μαζικών επιστροφών των εκδρομέων, εμφανίζονται προβλήματα λόγω του αυξημένου φόρτου με αποτέλεσμα πολλοί οδηγοί να χρησιμοποιούν, κατά παράβαση, τη ΛΕΑ.

Η Ολυμπία Οδός, το 2015, στα πλαίσια της αξιολόγησης της ενημέρωσης των πολιτών για τη χρήση της ΛΕΑ και τους κινδύνους που εγκυμονεί η χρήση της, μέσω σχετικού ενημερωτικού φυλλαδίου, διεξήγαγε έρευνα για την εκτίμηση του ποσοστού των παραβάσεων πριν και μετά τη διανομή του σχετικού υλικού.

Η καταγραφή των παραβάσεων πραγματοποιήθηκε για τρεις Κυριακές του Αυγούστου (μία πριν τη διανομή του ενημερωτικού υλικού και δύο μετά από αυτή) μεταξύ των ωρών 19.00–22.00, κατά τις οποίες παρατηρήθηκε αιχμή λόγω της επιστροφής των εκδρομέων. Οι μετρήσεις έγιναν στο τμήμα Ελευσίνα – Κόρινθος με κατεύθυνση προς Ελευσίνα στις χιλιομετρικές θέσεις (28+800), (44+500), (55+600) και (68+300). Στον Πίνακα 3.2 συνοψίζονται τα συνολικά αποτελέσματα των μετρήσεων.

Όπως παρατηρείται και στον πίνακα 3.2, το ποσοστό των παραβάσεων κατά την πρώτη Κυριακή των μετρήσεων ανέρχονταν σε 17,2% για το σύνολο της περιόδου μετρήσεων. Μετά τη διανομή του σχετικού ενημερωτικού υλικού, το ποσοστό μειώθηκε σε 10,9%, παρουσιάζοντας δηλαδή μια μείωση της τάξης του 36,5%, ενώ την αμέσως επόμενη Κυριακή το ποσοστό αυξήθηκε και πάλι στο 23,1%. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η ενημερωτική εκστρατεία με διανομή ενημερωτικού φυλλαδίου πιθανόν να επιφέρει αποτελέσματα, τα οποία όμως είναι βραχυπρόθεσμα και δεν αλλάζουν σε βάθος χρόνου τη συμπεριφορά του οδηγού.

Πίνακας 3.2: Μετρήσεις παραβατικότητας Λ.Ε.Α  
(Πηγή: Ολυμπία Οδός Α.Ε.)

Ωρα	Κυριακή (Πριν) 02/08/2015	Κυριακή (Μετά) 23/08/2015	Σύγκριση με 02/08/2015	Κυριακή (Μετά) 30/08/2015	Σύγκριση με 23/08/2015	Σύγκριση με 02/08/2015
<b>Καταγεγραμμένες Παραβάσεις</b>						
19:00 – 20:00	184	195		295		
20:00 – 21:00	291	150		392		
21:00 – 22:00	292	141		400		
<b>Σύνολο περιόδου</b>	767	486		1087		
<b>Κυκλοφοριακός Φόρτος</b>						
19:00 – 20:00	4378	4967		4668		
20:00 – 21:00	4581	4475		4859		
21:00 – 22:00	4447	3925		4572		
<b>Μέσος όρος περιόδου</b>	4469	4456		4699		
<b>Ποσοστό Παραβάσεων</b>						
19:00 – 20:00	4,2%	3,9%	-6,6%	6,3%	61,0%	50,4%
20:00 – 21:00	6,4%	3,4%	-47,2%	8,1%	140,7%	27,0%
21:00 – 22:00	6,6%	3,6%	-45,3%	8,7%	143,5%	33,3%
<b>Σύνολο περιόδου</b>	17,2%	10,9%	-36,5%	23,1%	112,1%	34,8%

### 3.1.3 Στοιχεία Δικτύου στο Aimsun

Τα στοιχεία ενός δικτύου στο Aimsun είναι ποικίλα και περιλαμβάνουν τα οδικά τμήματα, τους κόμβους, τα είδη των οχημάτων, τις καταστάσεις κυκλοφορίας κ.ά. Παρακάτω δίνεται η ορολογία που χρησιμοποιείται από το πρόγραμμα και ορίζονται οι έννοιες για τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν κατά το σχεδιασμό του δικτύου της παρούσας εργασίας.

Οδικό τμήμα (Section):

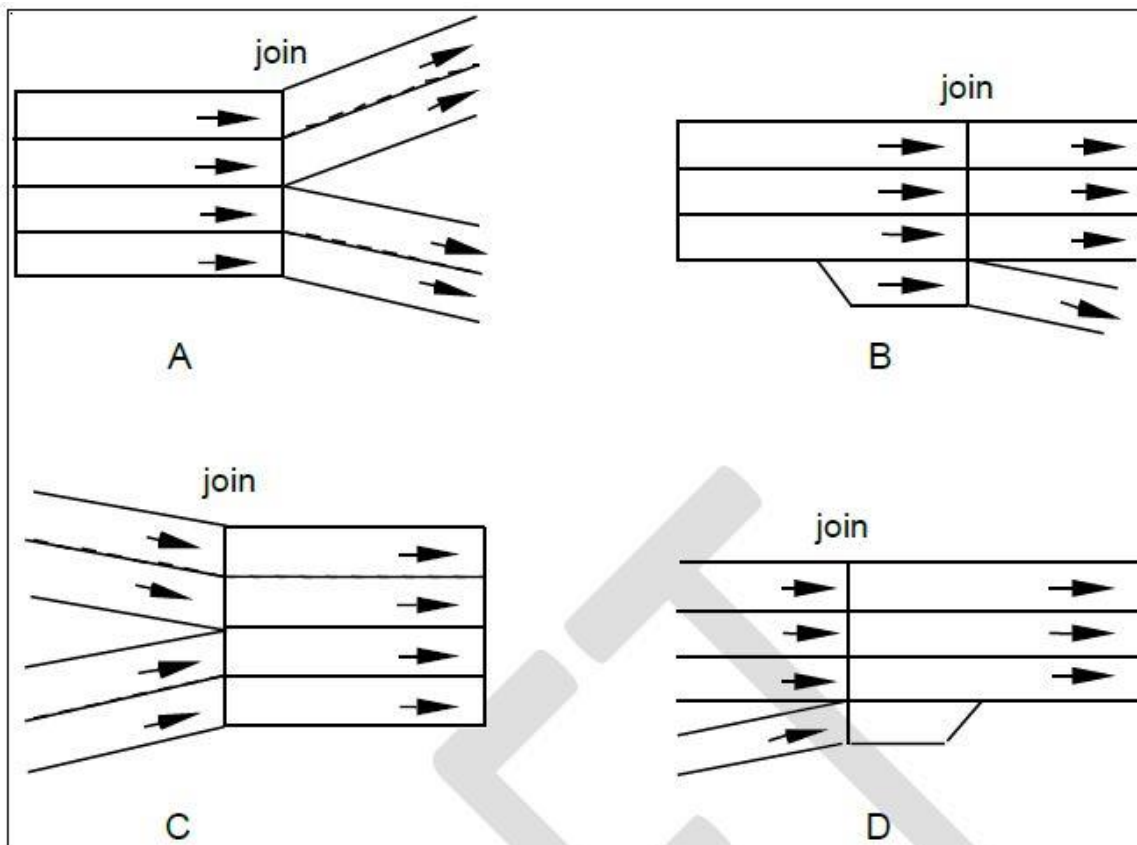
Είναι ένα σύνολο λωρίδων στις οποίες τα οχήματα κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση. Σε ένα αστικό δίκτυο, τα οδικά τμήματα ορίζονται συνήθως μεταξύ διαδοχικών κόμβων ενώ στους αυτοκινητοδρόμους, ένα οδικό τμήμα είναι συνήθως το τμήμα ανάμεσα σε διαδοχικούς κλάδους εισόδου/εξόδου.

Κόμβος (Node):

Είναι ένα σημείο ή μια περιοχή του δικτύου στην οποία τα οχήματα μπορούν να αλλάζουν την κατεύθυνση τους. Διακρίνονται δύο είδη κόμβων, τα οποία στο Aimsun ονομάζονται “joins” και “junctions”. Οι πρώτοι χρησιμοποιούνται στους αυτοκινητοδρόμους για το σχεδιασμό διακλαδώσεων, συμβολών, κλάδων εισόδου και εξόδου, ενώ οι δεύτεροι σε αστικές οδούς, όπου διασταυρώνονται κινήσεις.

Αποκλειστική λωρίδα (Reserved lane):

Πρόκειται για μια λωρίδα ενός τμήματος στην οποία επιτρέπεται μόνο ένα συγκεκριμένο είδος οχημάτων, όπως συμβαίνει με τις λεωφορειολωρίδες ή τις λωρίδες βαρέων οχημάτων. Η χρήση της λωρίδας μπορεί να είναι είτε υποχρεωτική (Compulsory) για το συγκεκριμένο τύπο οχημάτων, είτε προαιρετική (Optional). Αν μια αποκλειστική λωρίδα είναι προαιρετική, τότε τα οχήματα που επιτρέπονται σε αυτή, τη χρησιμοποιούν ανάλογα με τις κυκλοφοριακές συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα, αν η κίνησή τους σε αυτή έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερες ταχύτητες (για κάποια επόμενα βήματα προσομοίωσης), τότε εισέρχονται σε αυτή. Στη συγκεκριμένη εργασία, η Λωρίδα Έκτακτης Ανάγκης ορίστηκε ως προαιρετική αποκλειστική λωρίδα.



Εικόνα 3.1: Παραδείγματα κόμβων τύπου “join”.

(Πηγή: Aimsun 7 User’s Manual, 2011)

Τύπος οχήματος (Vehicle type):

Ορίζεται ως ένα σύνολο οχημάτων και οδηγών με κοινά χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, διαφορετικοί τύποι οχήματος μπορούν να οριστούν για τα ΙΧ, τα δίκυκλα, τα φορτηγά κ.ά.

Κλάση οχημάτων (Vehicle class):

Μία κλάση οχημάτων μπορεί να αποτελείται από έναν ή περισσότερους τύπους οχήματος και κάθε τύπος οχήματος μπορεί να ανήκει σε μια ή περισσότερες κλάσεις. Οι κλάσεις χρησιμοποιούνται για τον ορισμό των αποκλειστικών λωρίδων. Κάθε αποκλειστική λωρίδα ορίζεται για μια συγκεκριμένη κλάση οχημάτων και αυτό σημαίνει ότι η χρήση της λωρίδας επιτρέπεται μόνο στους τύπους οχημάτων που περιλαμβάνει η συγκεκριμένη κλάση.



Κατάσταση κυκλοφορίας (Traffic state):

Κάθε κατάσταση κυκλοφορίας ορίζεται για ένα συγκεκριμένο τύπο οχήματος και χρονικό διάστημα και αποτελεί μια περιγραφή της κατάστασης σε κάθε οδικό τμήμα. Για τα τμήματα που εισάγουν οχήματα στο δίκτυο ζητείται ο φόρτος που εισάγεται για το συγκεκριμένο τύπο οχήματος, και για κάθε επόμενο τμήμα και στροφή ζητούνται τα ποσοστά στροφών.

Σενάριο (Scenario):

Το σενάριο περιλαμβάνει τα δεδομένα εισόδου, καθώς και τα πειράματα και τις αναπαραγωγές που θα προσομοιωθούν. Απαραίτητα, περιλαμβάνει μια κυκλοφοριακή ζήτηση (traffic demand) η οποία αποτελείται από τις κυκλοφοριακές καταστάσεις που έχουν δημιουργηθεί (ή τους πίνακες προέλευσης-προορισμού), και προαιρετικά μπορεί να περιλαμβάνει επίσης ένα σχέδιο δημόσιων μεταφορών (public transport plan) και ένα σύνολο σχεδίων ελέγχου της κυκλοφορίας (master control plan). Τα σενάρια που χρησιμοποιούνται στη μικροσκοπική προσομοίωση είναι τα δυναμικά σενάρια (dynamic scenarios). Κάθε δυναμικό σενάριο περιλαμβάνει ένα ή περισσότερα δυναμικά πειράματα (experiments) και κάθε πείραμα μία ή περισσότερες αναπαραγωγές (replications) καθώς και το μέσο όρο τους (average).

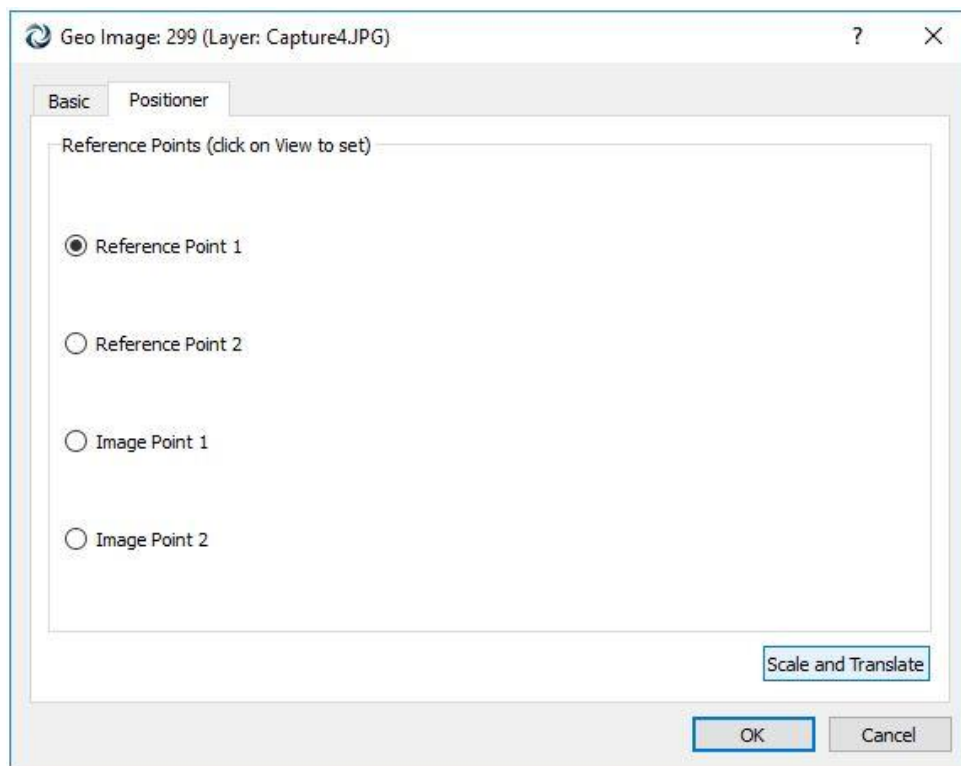
#### 3.1.4 Σχεδιασμός Δικτύου

Λόγω της μη ύπαρξης σχετικού υποβάθρου σε μορφή CAD, ο σχεδιασμός του οδικού δικτύου έγινε με τη βοήθεια του Google Maps πραγματοποιώντας μετρήσεις και χρησιμοποιώντας ως υπόβαθρα εικόνες μορφής JPEG.

Πιο συγκεκριμένα, για κάθε εικόνα που εισάγονταν στο πρόγραμμα, πραγματοποιούνταν μια μέτρηση μιας χαρακτηριστικής απόστασης στο Google Maps και σχεδιάζονταν ένα τμήμα ίσου μεγέθους στο περιβάλλον του Aimsun προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ως απόσταση αναφοράς για την αποκατάσταση της κλίμακας. Κατόπιν, μέσω της καρτέλας Positioner του παραθύρου που εμφανίζεται με διπλό κλικ στην εικόνα, επιλέγοντας τα δύο άκρα του τμήματος που σχεδιάστηκε και τα δύο αντίστοιχα σημεία στην εικόνα, η κλίμακα της εικόνας αποκαθίσταται με την επιλογή Scale and Translate.

Με την επιλογή Scale and Translate η εικόνα επίσης μετατίθεται με τρόπο ώστε να ταυτιστεί το τμήμα που έχει σχεδιαστεί στο Aimsun με το αντίστοιχο τμήμα στην εικόνα. Ωστόσο, δεδομένου ότι το οδικό τμήμα που έχει σχεδιαστεί στο Aimsun βρίσκεται σε τυχαία θέση και η

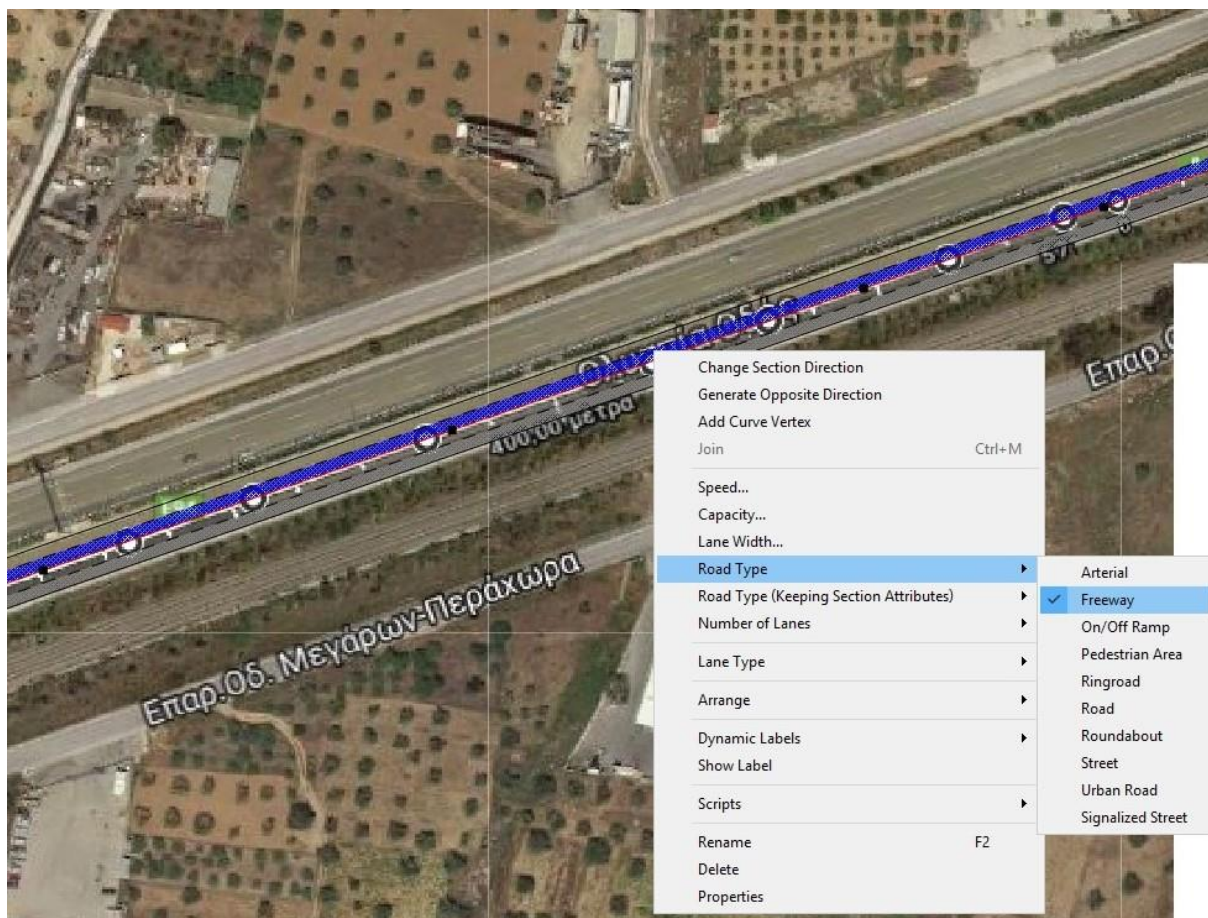
εικόνα μετατίθεται στη θέση αυτή, οι θέσεις των στοιχείων που σχεδιάζονται με υπόβαθρο την εικόνα δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Συνεπώς, δεν πρόκειται για γεωαναφορά της εικόνας που εισάγεται, παρά μόνο για αποκατάσταση της κλίμακας.



Εικόνα 3.2: Αποκατάσταση της κλίμακας της εικόνας που εισάγεται στο περιβάλλον του Aimsun.

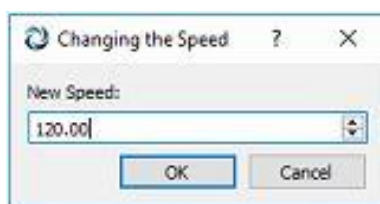
Την αποκατάσταση της κλίμακας κάθε εικόνας ακολουθούσε η δημιουργία των οδικών τμημάτων (section) και ο καθορισμός ορισμένων χαρακτηριστικών τους. Ένα οδικό τμήμα ορίζονταν ανάμεσα σε έναν κλάδο εισόδου και έναν κλάδο εξόδου ενώ επίσης ξεχωριστά τμήματα αποτελούσαν και τα τμήματα στα οποία υπήρχε ΛΕΑ. Για κάθε οδικό τμήμα καθορίστηκε ο τύπος του, η μέγιστη ταχύτητα, ο αριθμός και το πλάτος των λωρίδων καθώς και η αποκλειστική λωρίδα σε όποια τμήματα υπήρχε.

Κάθε οδικό τμήμα που δημιουργείται αποκτά την κατεύθυνση που ακολουθήθηκε κατά το σχεδιασμό. Στη συνέχεια δίνεται η δυνατότητα να αλλάξει η κατεύθυνση αυτή από το μενού που προβάλλεται επιλέγοντας το οδικό τμήμα. Από το μενού αυτό μπορούν να καθοριστούν και όλα τα χαρακτηριστικά του οδικού τμήματος, όπως φαίνεται και στις εικόνες που ακολουθούν.



Εικόνα 3.3: Επιλογή τύπου οδικού τμήματος για τμήμα αυτοκινητοδρόμου.

Ο τύπος του οδικού τμήματος (Road Type) ορίστηκε ως «Freeway» για τα τμήματα αυτοκινητοδρόμου και ως «On/Off Ramp» για τους κλάδους εισόδου και εξόδου. Με την επιλογή ενός συγκεκριμένου τύπου οδικού τμήματος, αποδίδονται από το πρόγραμμα και ορισμένες τιμές στα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του, όπως η μέγιστη ταχύτητα, μια πλασματική κυκλοφοριακή ικανότητα, το πλάτος των λωρίδων. Τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν επίσης να αλλάξουν από τις αντίστοιχες επιλογές του ίδιου μενού.

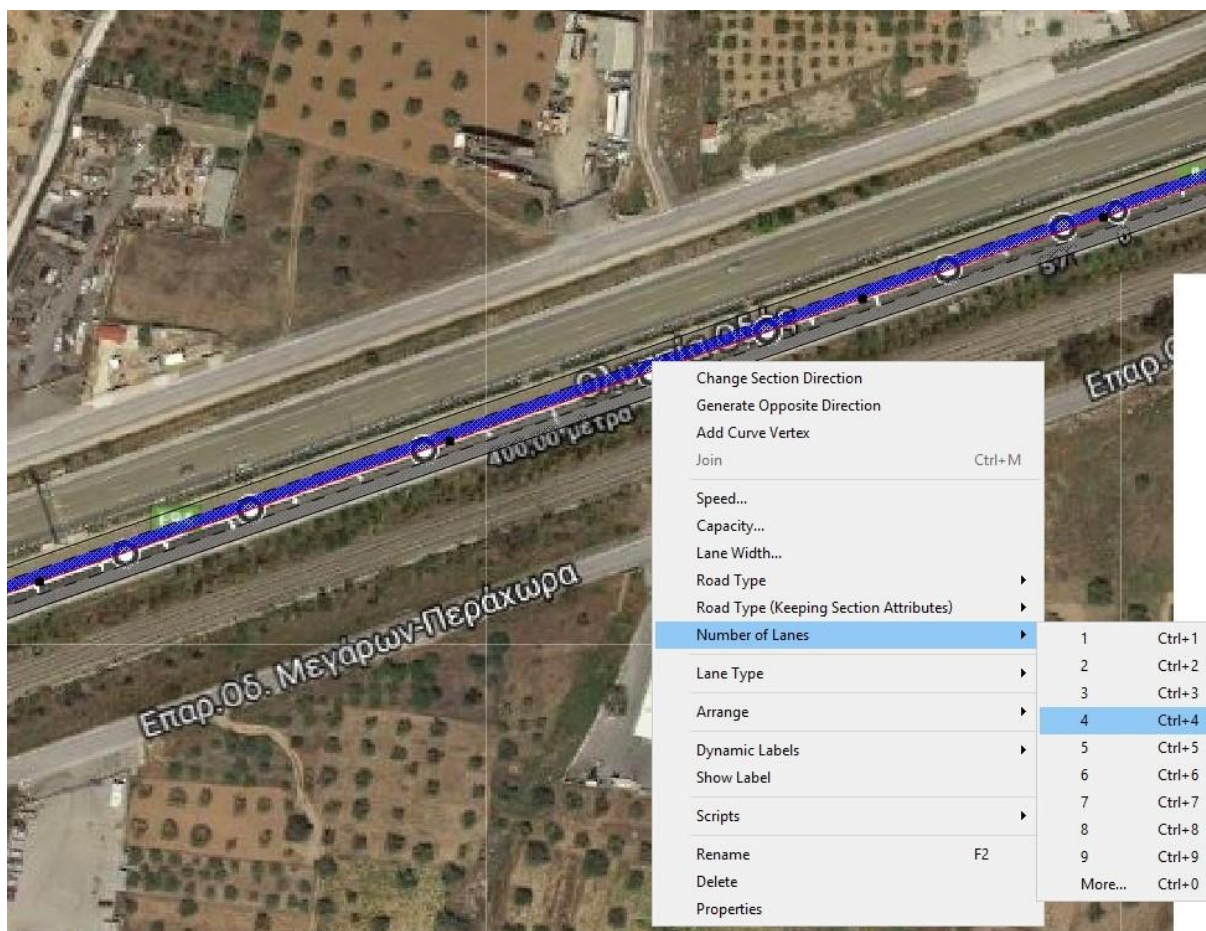


Εικόνα 3.4: Καθορισμός μέγιστης ταχύτητας για οδικό τμήμα αυτοκινητοδρόμου.



Εικόνα 3.5: Καθορισμός πλάτους λωρίδας για οδικό τμήμα αυτοκινητοδρόμου.

Η μέγιστη ταχύτητα για τα τμήματα αυτοκινητοδρόμου ορίστηκε ίση με 120 χλμ/ώρα, που αποτελεί και το όριο ταχύτητας στον αυτοκινητόδρομο. Για τα οδικά τμήματα που αποτελούν κλάδους εισόδου ή εξόδου η μέγιστη ταχύτητα έλαβε την προκαθορισμένη από το πρόγραμμα τιμή, δηλαδή 60 χλμ/ώρα. Το πλάτος των λωρίδων ορίστηκε ίσο με την τυπική τιμή των 3,5 μέτρων, αν και είναι γνωστό ότι στο Aimsun η συγκεκριμένη μεταβλητή αφορά μόνο στη γραφική απεικόνιση και δεν επηρεάζει την κυκλοφοριακή ικανότητα και γενικά τα αποτελέσματα, πράγμα που δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα.



Εικόνα 3.6: Επιλογή αριθμού λωρίδων για οδικό τμήμα αυτοκινητοδρόμου με τρεις λωρίδες και μια ΛΕΑ .

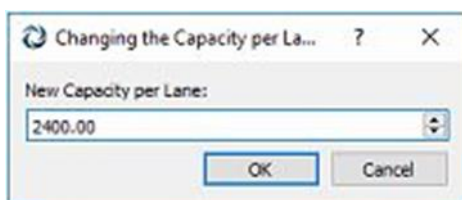


Ο αριθμός των λωρίδων ορίστηκε ανάλογα με το οδικό τμήμα, ίσος με 3 ή 4. Το τμήμα της Ολυμπίας Οδού, το οποίο αποτέλεσε το δίκτυο μελέτης για τη συγκεκριμένη εργασία, διαθέτει τρεις λωρίδες και μια Λωρίδα Έκτακτης Ανάγκης (ΛΕΑ) στο μεγαλύτερο τμήμα του. Συνεπώς, για τα οδικά τμήματα στα οποία υπήρχε ΛΕΑ επελέγη ο αριθμός 4 (Εικόνα 3.6) και στα σημεία στα οποία η ΛΕΑ διακόπτεται επελέγη ο αριθμός 3.

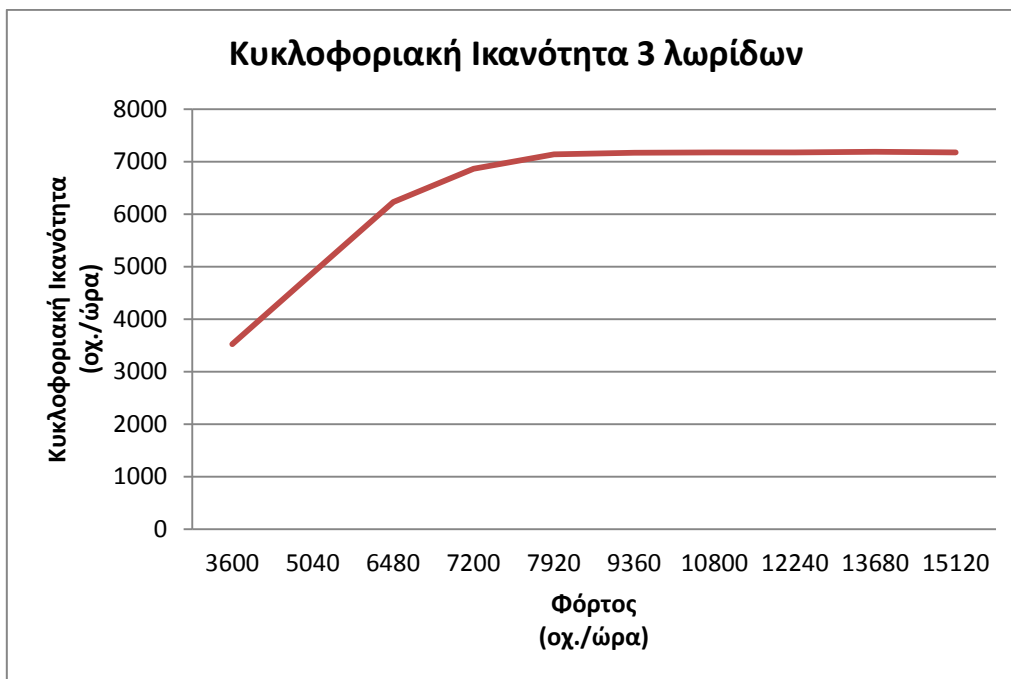
Σχετικά με την κυκλοφοριακή ικανότητα, παρατηρήθηκε ότι, ορίζοντας τον τύπο ενός οδικού τμήματος ως «Freeway», αποδίδεται στην κυκλοφοριακή ικανότητα ανά λωρίδα η προκαθορισμένη τιμή 2100 οχ./ώρα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, πραγματοποιήθηκε ένας έλεγχος για τον προσδιορισμό της κυκλοφοριακής ικανότητας προκειμένου να συγκριθεί με την προκαθορισμένη τιμή αλλά και τη θεωρητική τιμή που προκύπτει από τη μεθοδολογία του HCM 2010.

Οι λωρίδες του συγκεκριμένου τμήματος αυτοκινητοδρόμου ήταν τρεις, χωρίς τη λωρίδα έκτακτης ανάγκης, και συνεπώς ο έλεγχος που πραγματοποιήθηκε αφορούσε στον προσδιορισμό της ικανότητας των τριών λωρίδων. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις για τιμές φόρτου από πολύ μικρές έως πολύ μεγάλες και παρατηρήθηκε η τιμή στην οποία ο αριθμός των οχημάτων που διέρχεται σταθεροποιείται. Όπως φαίνεται στην εικόνα 3.8, ο αριθμός των οχημάτων που μπορούν να εξυπηρετηθούν σταθεροποιείται στα 7200 οχ./ώρα. Συνεπώς, η ικανότητα ανά λωρίδα προκύπτει 2400 οχ./ώρα. Η τιμή αυτή είναι ίση με αυτή που προέκυψε θεωρητικά από τις βασικές καμπύλες TEP (Εικόνα 2.3) και μεγαλύτερη από την προκαθορισμένη τιμή του προγράμματος.

Ωστόσο, είναι γνωστό ότι στο Aimsun η τιμή της κυκλοφοριακής ικανότητας προκύπτει ως δεδομένο εξόδου και η τιμή που ορίζεται από το χρήστη δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Συνεπώς η τιμή συμπληρώνεται εδώ μόνο για λόγους συνέπειας.



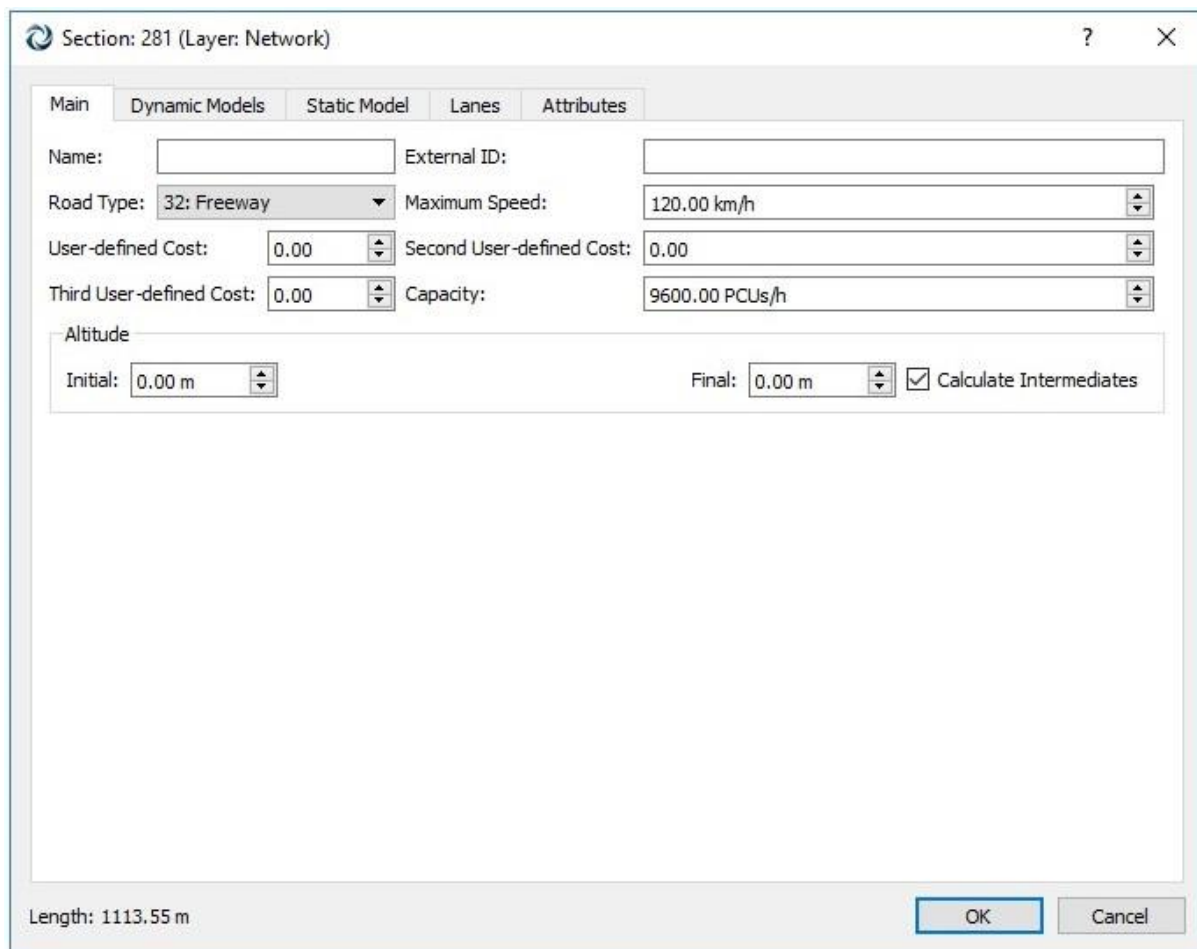
Εικόνα 3.7: Καθορισμός κυκλοφοριακής ικανότητας ανά λωρίδα για τμήμα αυτοκινητοδρόμου.



Εικόνα 3.8: Προσδιορισμός κυκλοφοριακής ικανότητας τριών λωρίδων.

Το σύνολο των χαρακτηριστικών ενός οδικού τμήματος (section) και όλες οι πληροφορίες που σχετίζονται με αυτό συνοψίζονται σε έναν φάκελο που προβάλλεται με διπλό κλικ πάνω σε ένα συγκεκριμένο οδικό τμήμα. Για κάθε οδικό τμήμα που έχει δημιουργηθεί, υπάρχει και ένας ξεχωριστός φάκελος ο οποίος περιέχει τα χαρακτηριστικά του και δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να αλλάξει όσα από αυτά επιθυμεί.

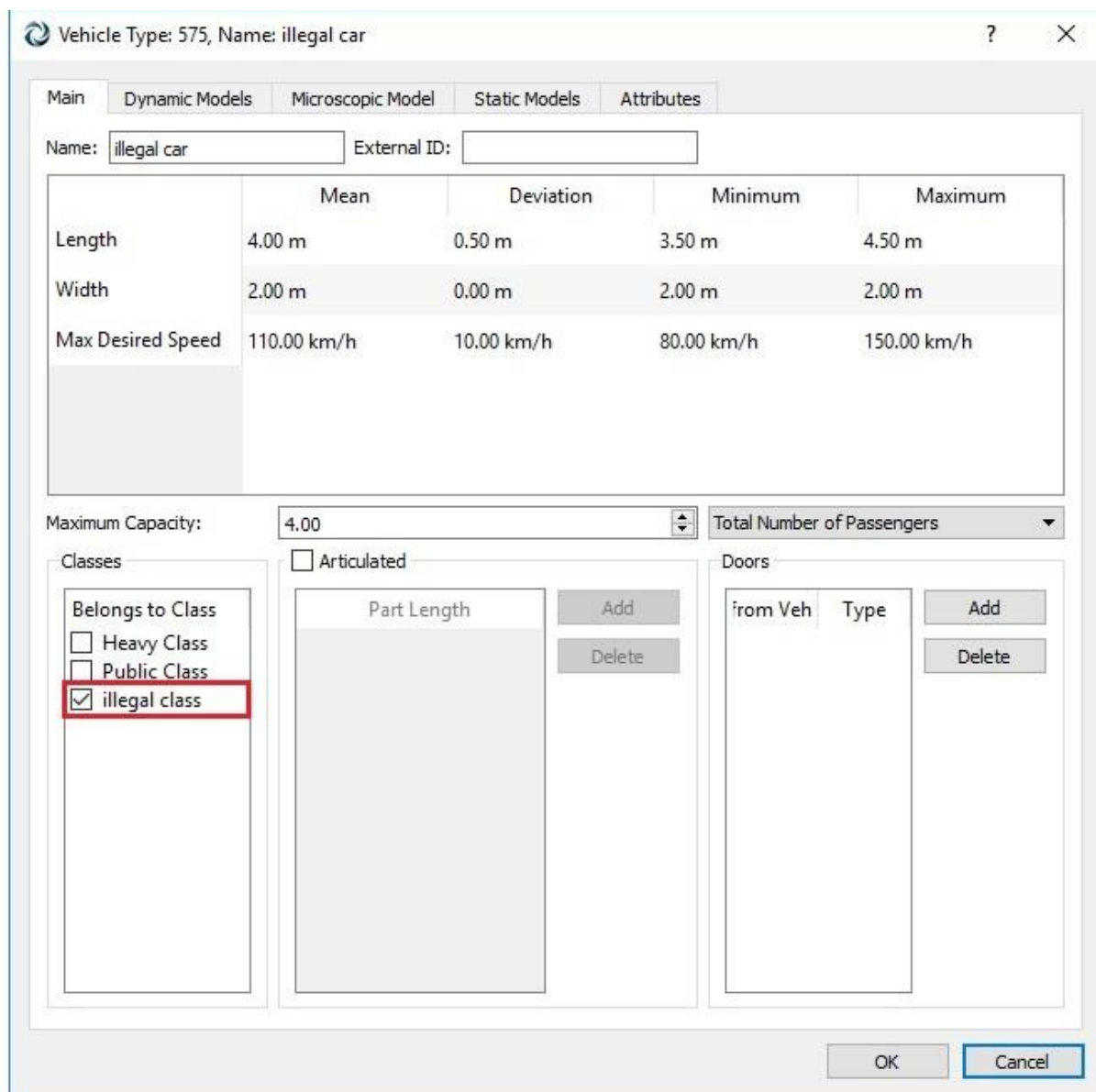
Στην καρτέλα «Main» περιλαμβάνονται ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά του οδικού τμήματος, όπως το μήκος του, ο τύπος, η ταχύτητα, η κυκλοφοριακή ικανότητα κ.ά. (Εικόνα 3.9). Στην καρτέλα «Lanes» συνοψίζονται όλες οι πληροφορίες που σχετίζονται με τις λωρίδες, όπως το πλάτος, ο τύπος λωρίδας κ.ά. Από την καρτέλα αυτή μπορούν, επίσης, να καθοριστούν διαφορετικές ταχύτητες για συγκεκριμένα τμήματα ή/και λωρίδες. Επιλέγοντας κάποια από τις υπόλοιπες καρτέλες μπορεί κανείς να αλλάξει και να ορίσει τις τιμές ποικίλων παραμέτρων που αφορούν στα μοντέλα που χρησιμοποιούνται από το πρόγραμμα για την προσομοίωση και άλλα χαρακτηριστικά.



Εικόνα 3.9: Σύνολο βασικών χαρακτηριστικών οδικού τμήματος αυτοκινητοδρόμου.

Σχετικά με τη Λωρίδα Έκτακτης Ανάγκης, προκειμένου να προσομοιωθεί η χρήση της από συγκεκριμένους μόνο οδηγούς και όχι από το σύνολο των οχημάτων, αποφασίστηκε να οριστεί ως αποκλειστική λωρίδα (Reserved Lane) για μια κλάση οχημάτων την οποία θα αποτελούσαν οι οδηγοί που αντιμετωπίζουν τη ΛΕΑ ως κανονική λωρίδα.

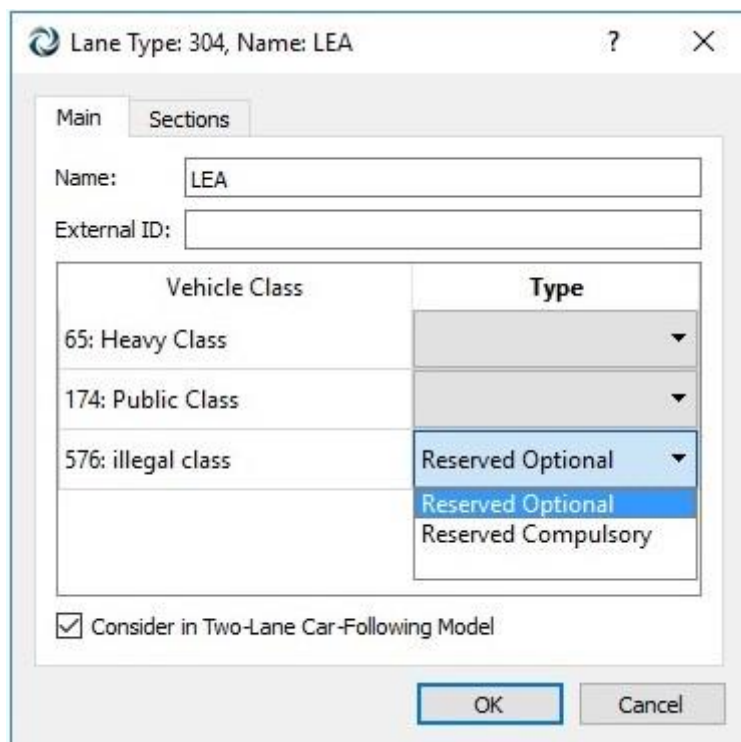
Συνεπώς, για τον ορισμό της ΛΕΑ σε όσα τμήματα υπήρχε, δημιουργήθηκε αρχικά ένας νέος τύπος οχήματος (Vehicle Type) που ονομάστηκε «Illegal car» και μια κλάση οχημάτων (Vehicle Class) με όνομα «Illegal class» και επελέγη ο τύπος «Illegal car» να ανήκει στην κλάση «Illegal class» (Εικόνα 3.10).



Εικόνα 3.10: Αντιστοίχιση του τύπου οχήματος «illegal car» με την κλάση «Illegal class».

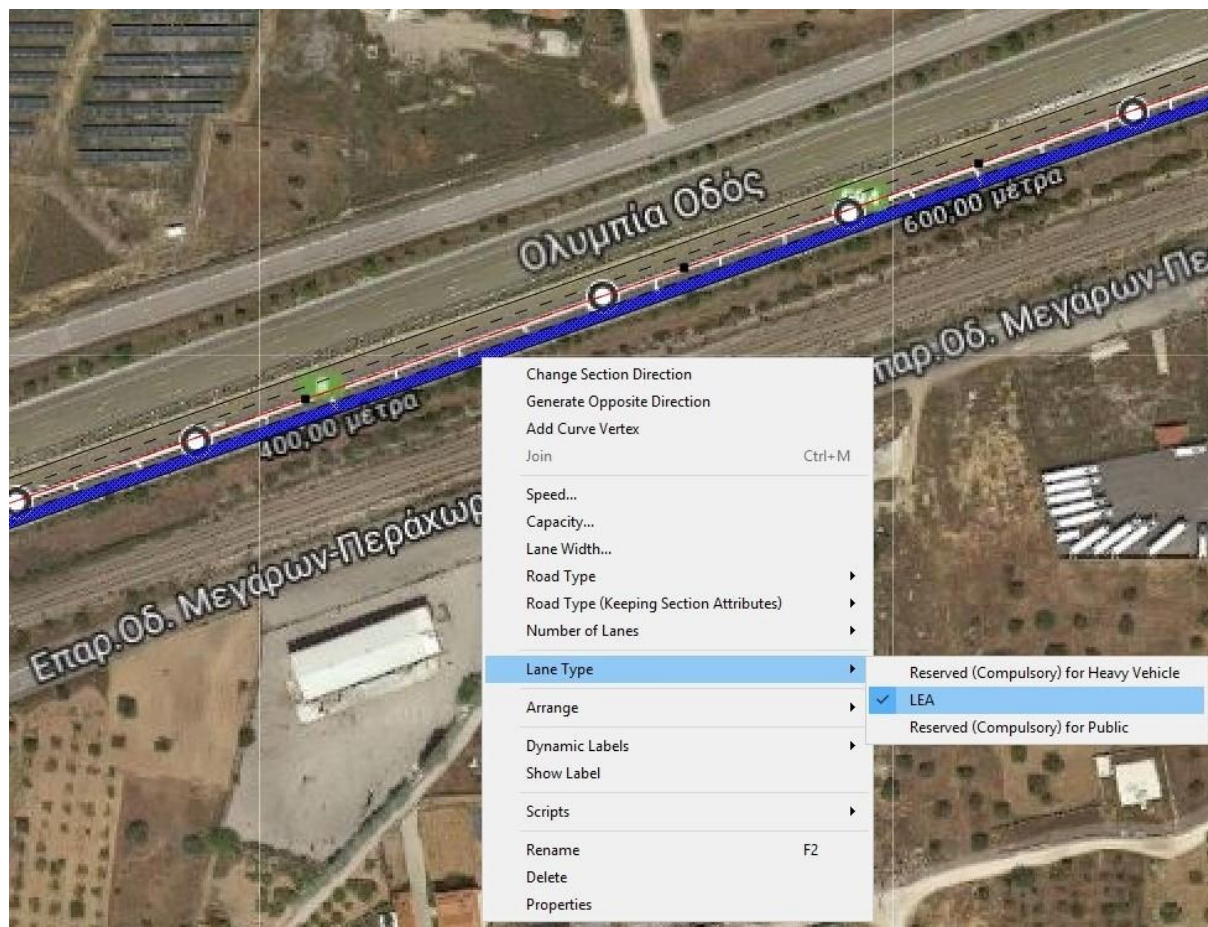
Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε ένας νέος τύπος λωρίδας (New Lane Type) ο οποίος ονομάστηκε «LEA» και ορίστηκε ως προαιρετική αποκλειστική λωρίδα (Reserved Optional) για την κλάση «Illegal class» (Εικόνα 3.11). Με την επιλογή «Reserved Optional» αντί για «Reserved Compulsory» ορίζεται η χρήση της λωρίδας από τη συγκεκριμένη κλάση οχημάτων ως προαιρετική και όχι υποχρεωτική, πράγμα που σημαίνει ότι τα οχήματα της συγκεκριμένης κλάσης μπορούν είτε να χρησιμοποιούν τη λωρίδα είτε όχι, ανάλογα με τις κυκλοφοριακές συνθήκες.





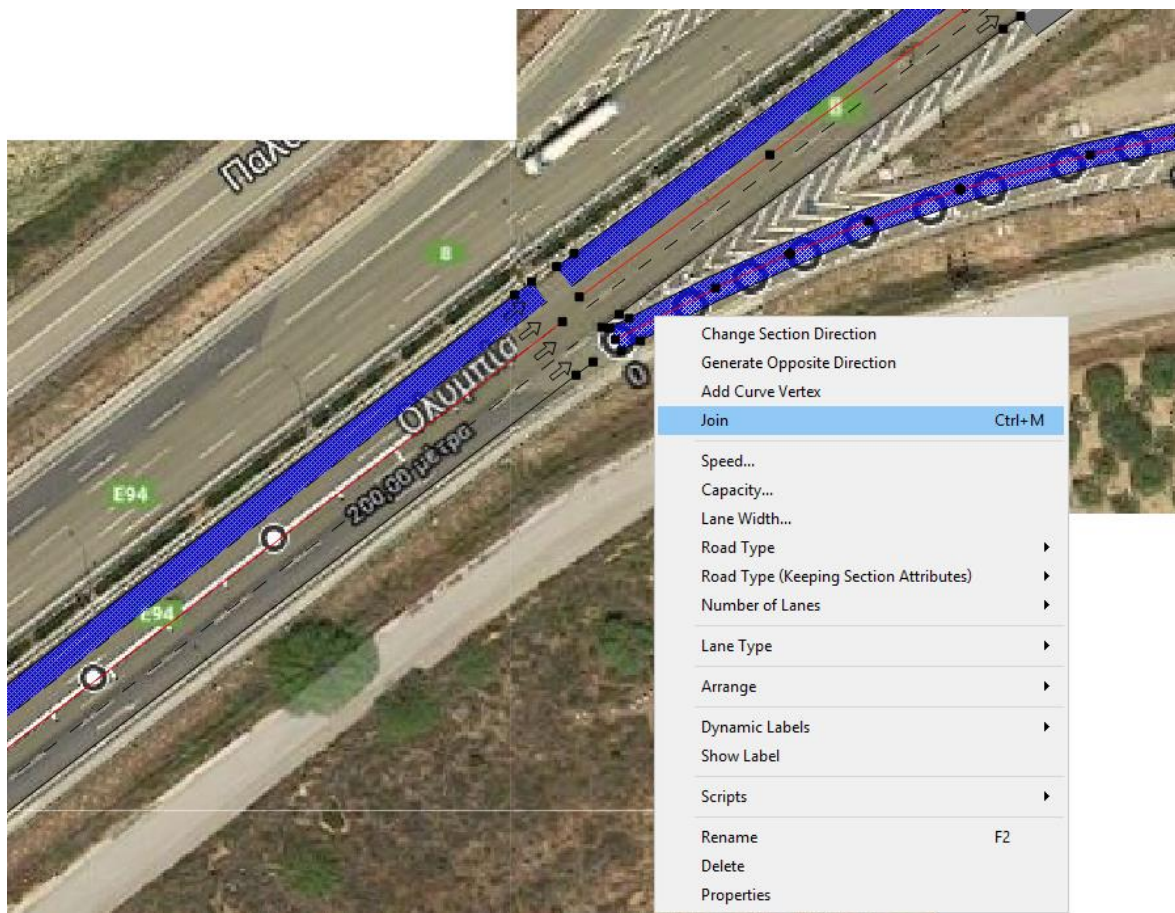
Εικόνα 3.11: Ορισμός του τύπου λωρίδας «LEA» ως αποκλειστική λωρίδα για την κλάση οχημάτων «Illegal class».

Ο ορισμός της Λωρίδας Έκτακτης Ανάγκης σε κάθε οδικό τμήμα στο οποίο υπήρχε, πραγματοποιήθηκε με επιλογή της άκρα δεξιάς λωρίδας των αντίστοιχων οδικών τμημάτων και επιλογή του τύπου λωρίδας (Lane Type) «LEA» (Εικόνα 3.12).



Εικόνα 3.12: Ορισμός της Λωρίδας Έκτακτης Ανάγκης (ΛΕΑ) σε οδικό τμήμα.

Τη δημιουργία των επιμέρους οδικών τμημάτων ακολούθησε και η σύνδεσή τους. Η σύνδεση των τμημάτων έγινε επιλέγοντας τα προς ένωση οδικά τμήματα και διαλέγοντας την επιλογή «Join» στο μενού που εμφανίζεται με δεξί κλικ. Η διαδικασία αυτή ουσιαστικά είναι η δημιουργία κόμβων τύπου «join» μεταξύ των επιμέρους οδικών τμημάτων. Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, οι κόμβοι που χρησιμοποιούνται κατά το σχεδιασμό αυτοκινητοδρόμων στο Aimsun είναι οι κόμβοι τύπου «join». Αυτός ο τύπος κόμβου χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό μερισμών, συμβολών, κλάδων εισόδου και εξόδου, σε αντίθεση με τον τύπο «junction» που αφορά στη διασταύρωση κινήσεων και δεν συναντάται στους αυτοκινητοδρόμους.



Εικόνα 3.13: Σύνδεση των επιμέρους οδικών τμημάτων με τη δημιουργία κόμβου τύπου «join».

## 3.2 Τα Σενάρια

Η διερεύνηση της επίδρασης της χρήσης της ΛΕΑ με προσομοίωση πραγματοποιείται μεταβάλλοντας τις τιμές ορισμένων προκαθορισμένων παραμέτρων επιρροής και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των διαφορετικών περιπτώσεων. Με βάση τις διαφορετικές τιμές των παραμέτρων αυτών, δημιουργείται ένα πλήθος σεναρίων τα οποία εξετάζονται ξεχωριστά και κατόπιν εξάγονται ορισμένα συμπεράσματα.

### 3.2.1 Παράμετροι Επιρροής

Οι παράμετροι που μπορεί να επηρεάζουν την κυκλοφορία σε ένα δίκτυο είναι ποικίλες και ενδέχεται να αφορούν στις συνθήκες φόρτου, στη συμπεριφορά των οδηγών ή σε γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού, αλλά στη συγκεκριμένη εργασία επελέγη να

εξεταστούν ορισμένες μόνο παράμετροι που θεωρήθηκε ότι επηρεάζουν περισσότερο και σχετίζονται με τη χρήση της ΛΕΑ.

Ορισμένες παράμετροι που θεωρήθηκε αρχικά ότι σχετίζονται με την επίδραση που υφίσταται ένα δίκτυο από την οδήγηση οχημάτων στη Λωρίδα Έκτακτης Ανάγκης είναι ο κυκλοφοριακός φόρτος, το ποσοστό των οδηγών που εισέρχονται στη ΛΕΑ, ο μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας (maximum give-way time) και μία παράμετρος που σχετίζεται με την εκτέλεση ενός ελιγμού αλλαγής λωρίδας (imprudent lane changing).

Για αυτές τις παραμέτρους έγιναν αρχικά κάποιες δοκιμαστικές προσομοιώσεις προκειμένου να καθοριστεί η σημασία τους και ο βαθμός στον οποίο επιδρούν, ώστε να κριθεί μετέπειτα αν είναι σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν στα τελικά σενάρια προσομοίωσης της συγκεκριμένης εργασίας.

#### **Κυκλοφοριακός φόρτος:**

Ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι ένα μέγεθος που επηρεάζει τις συνθήκες λειτουργίας σε έναν αυτοκινητόδρομο, όπως άλλωστε και σε κάθε τύπο οδικού τμήματος, και εν προκειμένω, σχετίζεται άμεσα με την απόφαση των οδηγών να εισέλθουν στη ΛΕΑ. Σε χαμηλούς φόρτους η κυκλοφορία είναι ανεμπόδιστη, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των οχημάτων ελάχιστες και συνεπώς οι οδηγοί δεν επιλέγουν να παρανομήσουν. Αντίθετα, από ένα επίπεδο φόρτου και πάνω, ορισμένοι οδηγοί εισέρχονται στη ΛΕΑ προκειμένου να κινηθούν με την ταχύτητα που επιθυμούν. Επίσης, ανάλογα με το επίπεδο φόρτισης του δικτύου, η επιρροή που υφίσταται το δίκτυο από τη χρήση της ΛΕΑ είναι διαφορετική.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι, ενώ στην πραγματικότητα οι οδηγοί αποφασίζουν να κινηθούν στη ΛΕΑ μόνο σε περιπτώσεις υψηλού κυκλοφοριακού φόρτου προκειμένου να βελτιώσουν την ταχύτητά τους, στην προσομοίωση συμπεριφέρονται διαφορετικά. Πιο συγκεκριμένα, τα οχήματα μπορεί να εισέλθουν σε αυτή και σε συνθήκες χαμηλής φόρτισης προκειμένου να προσπεράσουν τα ανάντη οχήματα και να κινηθούν με την επιθυμητή τους ταχύτητα. Επίσης, η απόφασή τους να κινηθούν στη ΛΕΑ πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη ορισμένα μόνο επόμενα βήματα προσομοίωσης και όχι τις συνολικές συνθήκες που επικρατούν στο οδικό τμήμα.

#### **Ποσοστό δυνητικών παραβατών:**

Οι επιπτώσεις της οδήγησης στη ΛΕΑ σχετίζονται προφανώς και με το ποσοστό των οχημάτων που παρανομούν. Η απόφαση ενός οδηγού να παρανομήσει σχετίζεται, εκτός από

τις συνθήκες που επικρατούν στο οδικό τμήμα, και με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του. Συνεπώς υπάρχει ένα ποσοστό οδηγών που δε θα καταπατήσουν τη ΛΕΑ ανεξαρτήτως των κυκλοφοριακών συνθηκών και ένα ποσοστό οδηγών που είναι περισσότερο ή λιγότερο πρόθυμοι. Αυτό εκφράζεται στη συγκεκριμένη εργασία διακρίνοντας τους οδηγούς σε “νόμιμους” και “δυσνητικούς παραβάτες”, δηλαδή σε αυτούς που σίγουρα δε θα εισέλθουν στη ΛΕΑ και σε αυτούς που, ανάλογα με τις κυκλοφοριακές συνθήκες, ενδέχεται να εισέλθουν.

#### **Μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας (Maximum give-way time):**

Μία ακόμη παράμετρος που εξετάστηκε ήταν ο μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας. Πρόκειται για μια μεταβλητή που υπεισέρχεται στο μοντέλο αποδοχής διακένου και στο μοντέλο αλλαγής λωρίδας που εφαρμόζονται στο Aimsun όταν ένα όχημα βρίσκεται σε μια κατάσταση παραχώρησης προτεραιότητας. Αφορά στο χρονικό διάστημα που περιμένει ακινητοποιημένο ένα όχημα πριν αρχίσει ο οδηγός να γίνεται επιθετικός, μειώνοντας τα αποδεκτά για αυτόν διάκενα. Στην περίπτωση των αυτοκινητοδρόμων, εφαρμόζεται σε περιπτώσεις συμβολής, όταν για παράδειγμα ένα όχημα βρίσκεται σε μια ράμπα εισόδου προκειμένου να εισέλθει στον αυτοκινητόδρομο. Αντίστοιχα, στην προκειμένη περίπτωση, θεωρήθηκε ότι αφορά και το διάστημα που περιμένει ένας οδηγός μέχρι να βρει διάκενο για να εισέλθει στη ΛΕΑ και να εξέλθει από αυτή μεταβαίνοντας στη διπλανή λωρίδα.

#### **Παράμετρος αλλαγής λωρίδας (Imprudent lane changing):**

Η συγκεκριμένη παράμετρος του Aimsun ορίζεται ως ένα ποσοστό των οχημάτων και αφορά στην εκτέλεση ενός ελιγμού αλλαγής λωρίδας και στον τρόπο που κρίνουν τα οχήματα ένα διάκενο ως ασφαλές ή μη για την εκτέλεση του ελιγμού. Σε συνδυασμό με το ποσοστό που ορίζεται για την παράμετρο αυτή, καθορίζεται και μία παράμετρος ευαισθησίας (sensitivity for imprudent lane changing), η οποία δηλώνει αν το όχημα υποεκτιμά ή υπερεκτιμά την επιβράδυνση του ανάντη οχήματος. Τιμές μεγαλύτερες του 1 υποδεικνύουν ότι ο οδηγός υπερεκτιμά την επιβράδυνση του ανάντη οχήματος, θεωρώντας μεγαλύτερα διάκενα από τα πραγματικά, ενώ για τιμές μικρότερες του 1 ισχύει το αντίθετο. Ο σκοπός του ελέγχου της παραμέτρου «imprudent lane changing» ήταν να προσδιοριστεί εάν και κατά πόσο επηρεάζουν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των οχημάτων κατά την αλλαγή λωρίδας τις συνθήκες στο δίκτυο.

### **3.2.2 Επιλογή Τιμών των Παραμέτρων Επιρροής**

Προκειμένου να σχεδιαστούν τα τελικά σενάρια τα οποία θα δημιουργηθούν για την εκτέλεση των προσομοιώσεων με στόχο τη διερεύνηση του συγκεκριμένου φαινομένου, θα πρέπει να



γίνει πρώτα η επιλογή των τιμών των προκαθορισμένων παραμέτρων. Για ορισμένες από αυτές, η επιλογή σχετικά με το εύρος των τιμών τους και το βήμα μεταβολής γίνεται με τη διενέργεια δοκιμαστικών προσομοιώσεων.

### Κυκλοφοριακός φόρτος

Για τον προσδιορισμό των τιμών του κυκλοφοριακού φόρτου των τελικών σεναρίων διεξήχθησαν ορισμένες δοκιμαστικές προσομοιώσεις, προκειμένου να καθοριστεί ένα κατώτατο και ένα ανώτατο όριο των τιμών που είναι σκόπιμο να εξεταστούν, καθώς και το βήμα μεταβολής των τιμών. Σκοπός ήταν να εξεταστούν συνθήκες χαμηλού, μεσαίου και υψηλού φόρτου, καλύπτοντας έτσι όλες τις περιπτώσεις.

Χρησιμοποιώντας ένα μέγεθος για την αποτύπωση των κυκλοφοριακών συνθηκών, το οποίο αναφέρθηκε στην ενότητα 2.1.2, το βαθμό κορεσμού ( $\frac{v}{c}$ ), και μεταβάλλοντας τις τιμές αυτού, προέκυψαν οι τιμές του φόρτου για τις δοκιμαστικές προσομοιώσεις. Για το λόγο αυτό χρειάστηκε να προσδιοριστεί και η κυκλοφοριακή ικανότητα, η οποία στην περίπτωση του αυτοκινητοδρόμου ισούται και με τη ροή κορεσμού αφού δεν υπεισέρχεται παρεμπόδιση της κυκλοφορίας εξαιτίας ελέγχου.

Από τις βασικές καμπύλες ταχύτητας-φόρτου για διαφορετικές τιμές ταχύτητας ελεύθερης ροής, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.3 της ενότητας 2.1.3.3, προκύπτει η ικανότητα ανά λωρίδα για δεδομένη ΤΕΡ. Στο συγκεκριμένο οδικό δίκτυο, το οποίο αποτελεί αυτοκινητόδρομο, η μέγιστη ταχύτητα είναι 120 χλμ/ώρα σύνεπώς μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για την εκτίμηση της ικανότητας την καμπύλη που αντιστοιχεί σε ταχύτητα ελεύθερης ροής 75 μίλια/ώρα. Η ικανότητα που προκύπτει για ΤΕΡ 75 μίλια/ώρα είναι 2400 οχ./ώρα/λωρίδα. Δηλαδή η ικανότητα των τριών λωρίδων είναι 7200 οχ./ώρα. Η τιμή αυτή προέκυψε και από τον πειραματικό έλεγχο που περιγράφηκε στην ενότητα 3.1.4.

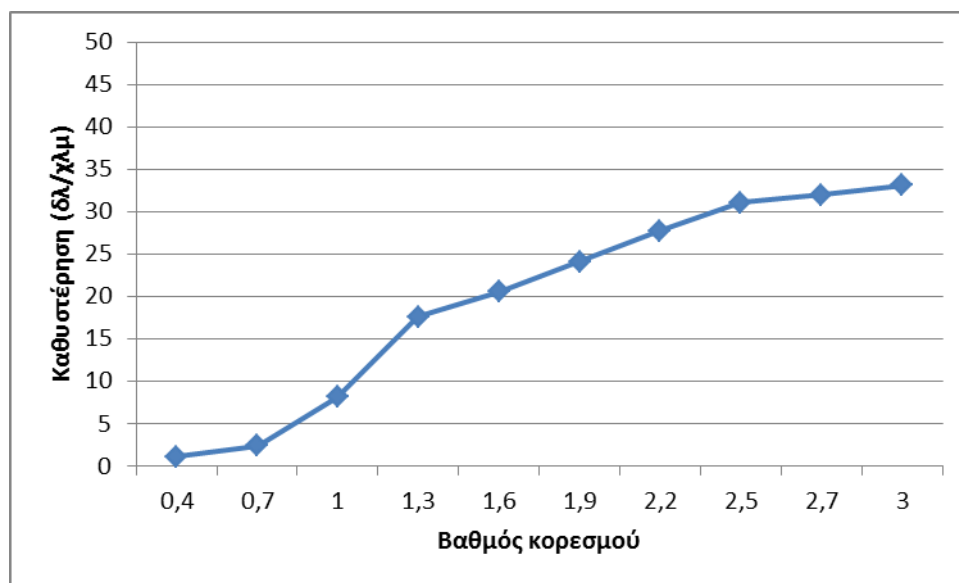
Για τις δοκιμαστικές προσομοιώσεις χρησιμοποιήθηκαν φόρτοι που προέκυψαν από βαθμούς κορεσμού που ξεκινούσαν από 0,4 και έφταναν έως και 3 και το αρχικό βήμα ήταν 0,3. Ωστόσο, αυτό το βήμα μεταβολής των τιμών κρίθηκε στη συνέχεια ανεπαρκές και μειώθηκε σε 0,2 και τελικά σε 0,1 διότι παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στο μέγεθος της καθυστέρησης μεταξύ ορισμένων σεναρίων.

Για φόρτο ίσο με 2880 οχ./ώρα, που προκύπτει από βαθμό κορεσμού 0,4, παρατηρήθηκε ότι η κυκλοφορία είναι απρόσκοπτη και τα οχήματα δεν αλληλεπιδρούν. Δεν υπάρχουν

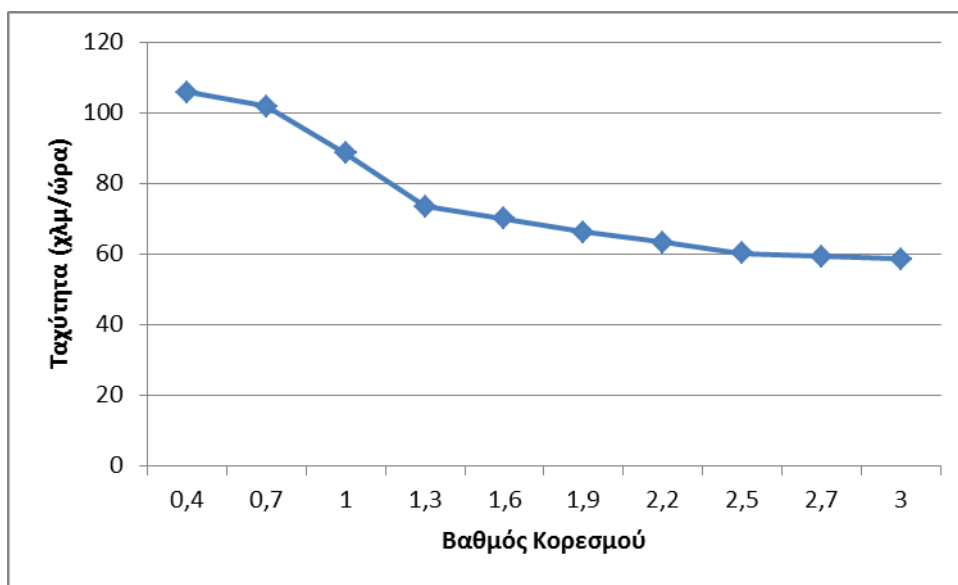
καθυστερήσεις και η ταχύτητα των οχημάτων είναι η μέγιστη επιθυμητή. Για βαθμό κορεσμού 0,5 έχουμε και πάλι συνθήκες χαμηλού φόρτου κι επομένως κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν βαθμοί κορεσμού από 0,5 και πάνω. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε κυκλοφοριακό φόρτο 3600 οχ./ώρα.

Για να προσδιοριστεί το ανώτατο όριο του κυκλοφοριακού φόρτου που θα χρησιμοποιηθεί στα τελικά σενάρια, πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις για τιμές που προκύπτουν από βαθμούς κορεσμού από 0,4 έως 3 και για ποσοστά δυνητικών παραβατών 0% και 100%. Σκοπός ήταν να παρατηρηθεί η τιμή του βαθμού κορεσμού μετά την οποία τα εξεταζόμενα μεγέθη, τα οποία στην προκειμένη περίπτωση ήταν η καθυστέρηση και η ταχύτητα, σταθεροποιούνταν. Ο λόγος για τον οποίο στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε, εκτός από την καθυστέρηση, και η ταχύτητα για την αποτύπωση των κυκλοφοριακών συνθηκών ήταν επειδή το οδικό δίκτυο μελέτης ήταν ένας αυτοκινητόδρομος.

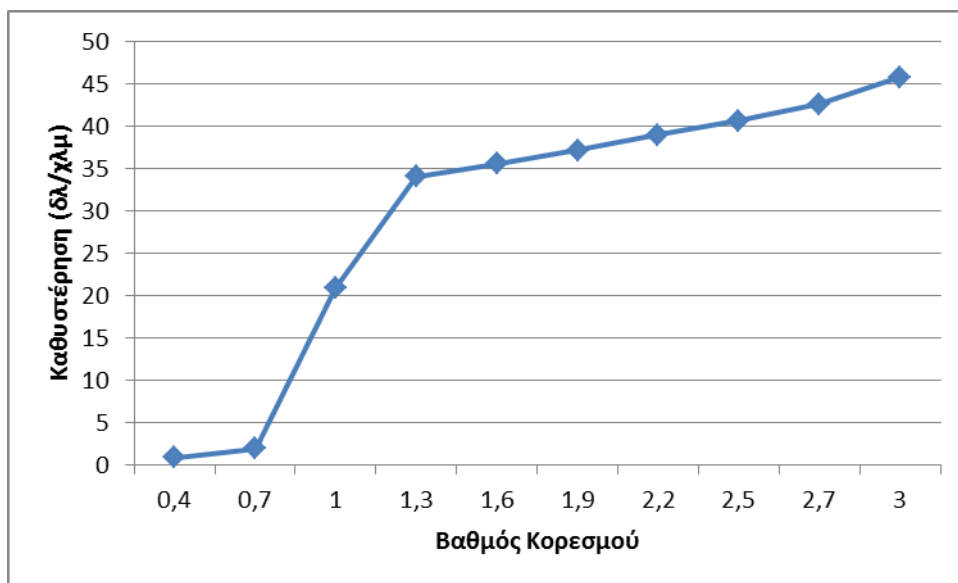
Όπως φαίνεται και στα διαγράμματα που ακολουθούν, η καθυστέρηση αυξάνεται διαρκώς όσο αυξάνονται τα επίπεδα φόρτισης, ενώ η ταχύτητα εμφανίζει μια σταθεροποίηση για τιμές του βαθμού κορεσμού μεγαλύτερες του 1,3. Προκειμένου να μην είναι υπερβολικά μεγάλος ο αριθμός των τελικών σεναρίων και να προκύψει ένας λογικός αριθμός, ως ανώτατο όριο για το βαθμό κορεσμού τέθηκε η τιμή 1,5, μετά την οποία μπορεί να θεωρηθεί ότι δε μεταβάλλεται ιδιαίτερα η συνολική εικόνα του δικτύου. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε κυκλοφοριακό φόρτο 10800 οχ./ώρα.



Διάγραμμα 3.1: Μέση καθυστέρηση οδικού δικτύου συναρτήσει του βαθμού κορεσμού για ποσοστό δυνητικών παραβατών 0%.

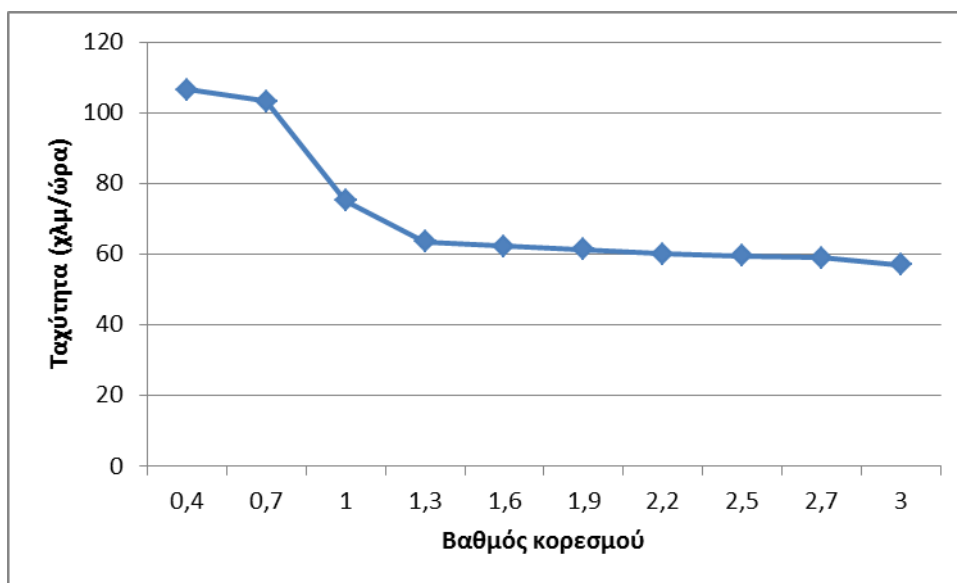


Διάγραμμα 3.2: Μέση ταχύτητα οδικού δικτύου συναρτήσει του βαθμού κορεσμού για ποσοστό δυνητικών παραβατών 0%.



Διάγραμμα 3.3: Μέση καθυστέρηση οδικού δικτύου συναρτήσει του βαθμού κορεσμού για ποσοστό δυνητικών παραβατών 100%.





Διάγραμμα 3.4: Μέση ταχύτητα οδικού δικτύου συναρτήσει του βαθμού κορεσμού για ποσοστό δυνητικών παραβατών 100%.

#### Ποσοστό δυνητικών παραβατών

Η επίδραση της χρήσης της ΛΕΑ στο δίκτυο εξαρτάται προφανώς και από το ποσοστό των οδηγών που τη χρησιμοποιούν. Είναι λογικό ότι όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό των παραβατών, αυξάνονται και οι επιπτώσεις στο δίκτυο και είναι σκόπιμο να εξετασθεί πώς επηρεάζουν τις συνθήκες τα διάφορα ποσοστά ανάλογα και με το επίπεδο φόρτισης.

Σχετικά με το βήμα μεταβολής των τιμών, αρχικά επελέγη το 20% και έγιναν ορισμένες δοκιμές προκειμένου να προσδιοριστεί αν προκύπτουν μεγάλες διαφορές μεταξύ των αποτελεσμάτων, πράγμα που σημαίνει ότι θα πρέπει να μειωθεί ή, σε αντίθετη περίπτωση, αν μπορεί να αυξηθεί. Για το λόγο αυτό δοκιμάστηκαν ποσοστά από 0% έως 100% με αρχικό βήμα 20% για δύο επίπεδα φόρτισης, ένα χαμηλό ( $\frac{v}{c} = 0,5$ ) και ένα υψηλό ( $\frac{v}{c} = 1,5$ ).

Από τα διαγράμματα των τιμών της καθυστέρησης και της ταχύτητας και υπολογίζοντας και τα ποσοστά μεταβολής, παρατηρήθηκε ότι για χαμηλό φόρτο οι διαφορές των τιμών της ταχύτητας είναι μικρότερες του 1% και για την καθυστέρηση οι μεταβολές είναι σχετικά μικρές με μόνη εξαίρεση τη μεταβολή που παρατηρήθηκε ανάμεσα στα ποσοστά παραβατών 0% και 20% και είναι ίση με 12%. Αντίθετα, σε υψηλό φόρτο, παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3.3. Μεταξύ των ποσοστών 0% και 20% παρατηρείται αύξηση της καθυστέρησης κατά 44% ενώ επίσης μεταξύ των ποσοστών 60%

και 80% έχουμε αύξηση κατά 18%. Δεδομένου ότι οι διαφορές αυτές είναι σημαντικές, το βήμα μεταβολής της συγκεκριμένης παραμέτρου μειώθηκε από 20% σε 10% για τα τελικά σενάρια προσομοίωσης.

Πίνακας 3.3: Τιμή και μεταβολή μέσης καθυστέρησης δικτύου σε υψηλό φόρτο για διαφορετικές τιμές ποσοστού δυνητικών παραβατών.

Ποσοστό δυνητικών παραβατών (%)	Καθυστέρηση (δλ/χλμ)	Μεταβολή (%)
0	16,69	
		44
20	24,02	
		12
40	26,78	
		8
60	28,93	
		18
80	34,10	
		3
100	34,94	

#### Μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας (Maximum give-way time)

Σχετικά με το εύρος των τιμών της συγκεκριμένης παραμέτρου στο Aimsun, οι Ciuffo et al. (2014), οι οποίοι έκαναν μια ανάλυση ευαισθησίας των παραμέτρων του προγράμματος εξετάζοντας όλες τις παραμέτρους, χρησιμοποίησαν για το μέγιστο χρόνο παραχώρησης προτεραιότητας (maximum give-way time) ένα εύρος τιμών από 1 έως 50 δευτ/τα, μεταβάλλοντας τις τιμές ανά 10 δευτ/τα. Δεδομένου ότι η τιμή των 50 δευτ/των είναι ιδιαίτερα μεγάλη για την περίπτωση ενός αυτοκινητοδρόμου, επελέγη αρχικά να γίνουν ορισμένες δοκιμαστικές προσομοιώσεις για τιμές 0 και 20 δευτ/των σε περιπτώσεις χαμηλού, μέσου και υψηλού φόρτου. Ενδεικτικά παρατίθενται παρακάτω τα αποτελέσματα που προέκυψαν για βαθμό κορεσμού ίσο με 1 (Πίνακας 3.4).

Οι προσομοιώσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν σε δοκιμαστικό δίκτυο χωρίς εισόδους και εξόδους ώστε να διασφαλιστεί ότι οποιοσδήποτε επιπτώσεις παρατηρούνται στα αποτελέσματα οφείλονται στην επιρροή της συγκεκριμένης μεταβλητής και όχι σε άλλους παράγοντες. Από τις δοκιμές αυτές διαπιστώθηκε ότι, αντίθετα με αυτό που αναμένονταν, η μεταβολή της συγκεκριμένης παραμέτρου δεν έχει κάποια επίδραση στο δίκτυο και συνεπώς δεν είναι σκόπιμο να εξεταστεί στα τελικά σενάρια.

*Πίνακας 3.4: Αποτελέσματα προσομοιώσεων σε δίκτυο χωρίς εισόδους και εξόδους για βαθμό κορεσμού  $v/c=1$  και διαφορετικές τιμές μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας.*

	Μέγιστος χρόνος παραχώρησης προτεραιότητας (δλ)	
	0	20
<b>Καθυστέρηση (δλ/χλμ)</b>	21,91	21,98
<b>Ταχύτητα (χλμ/ώρα)</b>	74,22	74,13

Παράμετρος αλλαγής λωρίδας (Imprudent lane changing)

Η παράμετρος αυτή, η οποία όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, αφορά στην εκτέλεση ενός ελιγμού αλλαγής λωρίδας, ορίζεται ως ένα ποσοστό του συνόλου των οχημάτων. Οι τιμές που εξετάστηκαν αρχικά ήταν οι τιμές 0%, 25%, 50%, 75% και 100%, και για επίπεδο φόρτισης χαμηλό ( $\frac{v}{c} = 0,5$ ), μέσο ( $\frac{v}{c} = 1$ ) και υψηλό ( $\frac{v}{c} = 1,5$ ). Οι διαφορές στα αποτελέσματα μεταξύ των διαφορετικών ποσοστών για τη συγκεκριμένη παράμετρο ήταν μικρές και συνεπώς επελέγη στα τελικά σενάρια να χρησιμοποιηθούν μόνο οι τιμές 0%, 50% και 100%.

Σχετικά με την παράμετρο ευαισθησίας (sensitivity for imprudent lane changing), η οποία καθορίζεται σε συνδυασμό με το ποσοστό που ορίζεται για την παράμετρο «imprudent lane changing», και αφορά στον τρόπο που κρίνει ένα όχημα ένα διάκενο ως μη ασφαλές, εξετάστηκαν 3 τιμές. Μετά από δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν για τιμές 0,5, 1 και 1,5, παρατηρήθηκε ότι για τιμή 1 τα αποτελέσματα δεν παρουσίαζαν διαφορές για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου και για την τιμή 1,5 τα αποτελέσματα δεν εμφάνιζαν μία συνέπεια.

Γενικά, τιμές μεγαλύτερες του 1 υποδεικνύουν ότι το όχημα που επιθυμεί να αλλάξει λωρίδα υπερεκτιμά την επιβράδυνση του ανάντη οχήματος στη λωρίδα που θα μεταβεί, θεωρώντας μη ρεαλιστικά διάκενα και συνεπώς, η τιμή 0,5, η οποία τελικά επελέγη, δηλώνει ότι το όχημα που επιθυμεί να αλλάξει λωρίδα υποεκτιμά την επιβράδυνση του ανάντη οχήματος στη λωρίδα που θα μεταβεί θεωρώντας μικρότερα διάκενα από τα πραγματικά.

Κατά συνέπεια, το ποσοστό που καθορίζεται μέσω της παραμέτρου «imprudent lane-changing» στη συγκεκριμένη εφαρμογή δεν αφορά στη μη ασφαλή αλλαγή λωρίδας αλλά στο ποσοστό των οχημάτων που αναμένουν μεγαλύτερα από τα απαραίτητα διάκενα προκειμένου να αλλάξουν λωρίδα.

Πίνακας 3.5: Αποτελέσματα προσομοιώσεων για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου αλλαγής λωρίδας σε χαμηλό, μεσαίο και υψηλό φόρτο.

		Παράμετρος αλλαγής λωρίδας		
Βαθμός Κορεσμού		0%	50%	100%
0,5	Καθυστέρηση (δλ/χλμ)	1,12	1,18	1,45
	Ταχύτητα (χλμ/ώρα)	105,84	105,63	104,79
1,0	Καθυστέρηση (δλ/χλμ)	21,25	23,88	29,24
	Ταχύτητα (χλμ/ώρα)	74,64	72,32	66,94
1,5	Καθυστέρηση (δλ/χλμ)	35,16	37,33	37,61
	Ταχύτητα (χλμ/ώρα)	62,14	61,06	61,66

#### Αριθμός αναπαραγωγών

Εκτός από τις τιμές των παραμέτρων επιρροής που αναφέρθηκαν παραπάνω, έπρεπε να προσδιοριστεί και ο αριθμός των αναπαραγωγών της προσομοίωσης κάθε πειράματος κάθε σεναρίου. Λόγω της στοχαστικότητας των δυναμικών σεναρίων που χρησιμοποιούνται στη μικροσκοπική προσομοίωση απαιτείται ένας αριθμός αναπαραγωγών προκειμένου να εξασφαλιστεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων των σεναρίων. Ο απαιτούμενος αυτός αριθμός

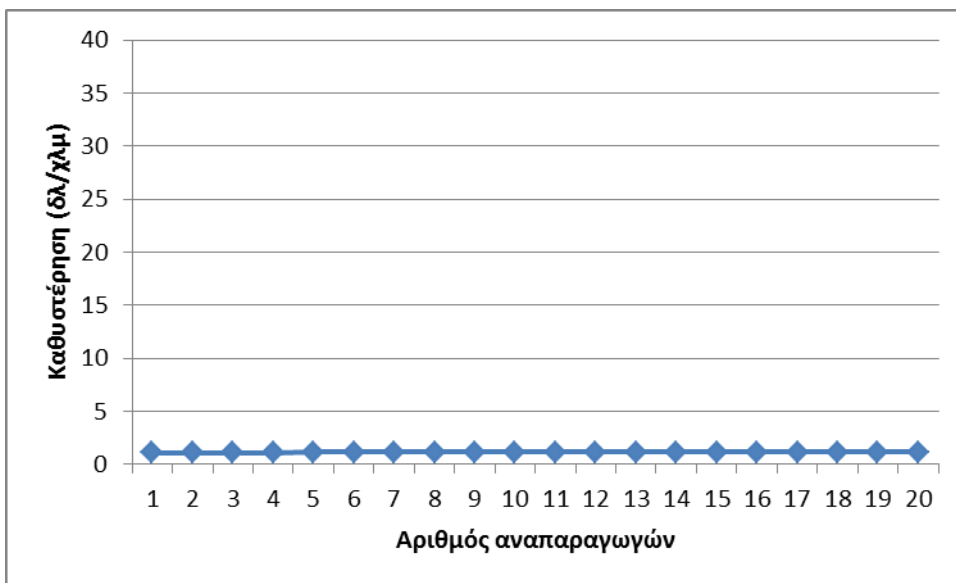
είναι ο ελάχιστος αριθμός μετά τον οποίο ο μέσος όρος ενός μεγέθους που επιλέγεται να εξεταστεί σταθεροποιείται.

Για να προσδιοριστεί ο ελάχιστος αριθμός επαναλήψεων που απαιτείται, δημιουργήθηκαν και πραγματοποιήθηκαν δοκιμαστικές προσομοιώσεις για τέσσερα σενάρια. Δύο από τα σενάρια αφορούσαν σε χαμηλό επίπεδο φόρτου και ποσοστά οχημάτων που εισέρχονται στη ΛΕΑ 0% και 100%, και τα άλλα δύο αφορούσαν σε υψηλό φόρτο και επίσης για ποσοστά 0% και 100%. Για τα σενάρια αυτά έγιναν δοκιμές με αριθμό αναπαραγωγών από 0 έως 20 και τα αποτελέσματα κρίθηκαν με βάση τα κυκλοφοριακά μεγέθη της καθυστέρησης και της ταχύτητας. Για τα μεγέθη αυτά εξετάστηκε, εκτός από την τιμή του μέσου όρου για κάθε αριθμό αναπαραγωγών, και η μεταβολή του μεγέθους σε κάθε επιπλέον αναπαραγωγή.

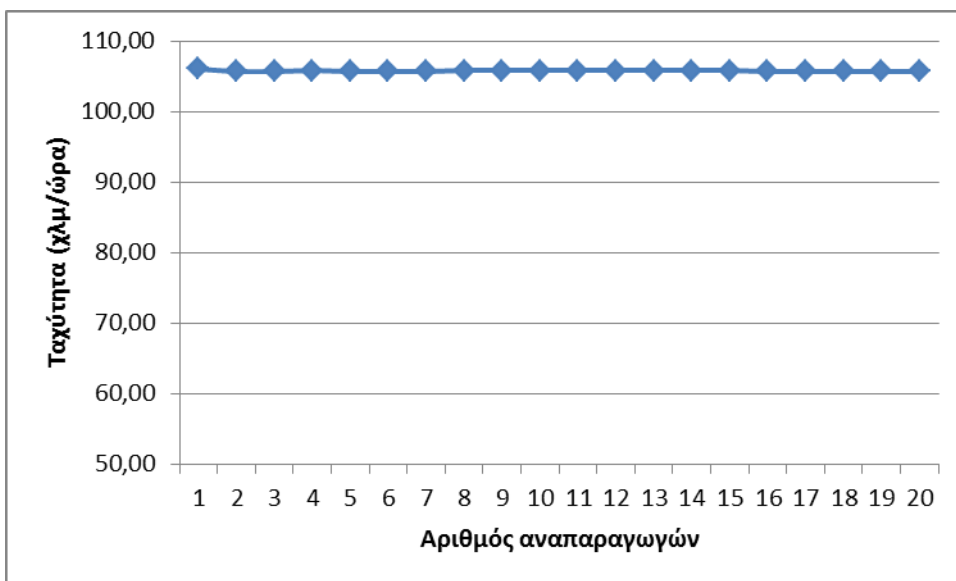
Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά ορισμένα από τα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Τα διαγράμματα αυτά αφορούν σε χαμηλό ( $\frac{v}{c} = 0,5$ ) και υψηλό ( $\frac{v}{c} = 1,5$ ) φόρτο και ποσοστό 100% των οχημάτων που χρησιμοποιούν τη ΛΕΑ ως κανονική λωρίδα.

Από το σύνολο των διαγραμμάτων που δημιουργήθηκαν, παρατηρήθηκε ότι σε χαμηλό φόρτο ( $\frac{v}{c} = 0,5$ ), τόσο η καθυστέρηση όσο και η ταχύτητα παρουσιάζουν ελάχιστες διαφορές στα αποτελέσματα που προέκυψαν για διαφορετικούς αριθμούς επαναλήψεων. Πιο συγκεκριμένα, η μεταβολή της τιμής της καθυστέρησης για κάθε επιπλέον επανάληψη είναι της τάξης του 0,2% με 0,3% από τις πρώτες κιόλας επαναλήψεις και η μεταβολή της τιμής της ταχύτητας είναι της τάξης του 0,02% με 0,04%.

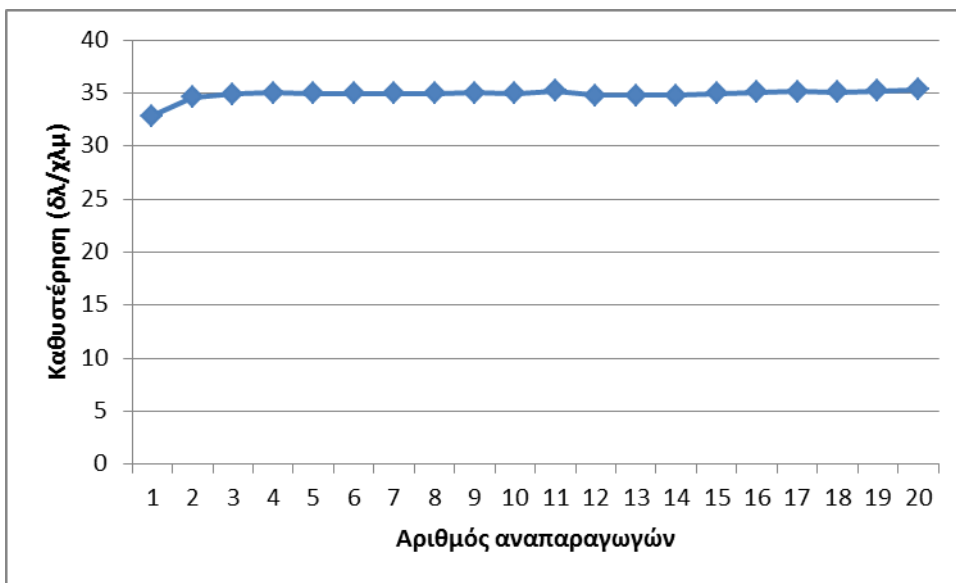
Σε συνθήκες υψηλής φόρτισης ( $\frac{v}{c} = 1,5$ ), οι διαφορές μεταξύ των μέσων όρων διαφορετικού αριθμού αναπαραγωγών είναι ελαφρώς μεγαλύτερες για μικρό αριθμό αναπαραγωγών αλλά και σε αυτή την περίπτωση δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Συνεπώς και σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται ότι από τις πρώτες κιόλας επαναλήψεις, η μεταβολή του μέσου όρου του εξεταζόμενου μεγέθους για κάθε επιπλέον αναπαραγωγή είναι πολύ μικρή. Αυτό σημαίνει ότι δεν ωφελεί να χρησιμοποιηθεί μεγάλος αριθμός αναπαραγωγών αφού δεν βελτιώνει περαιτέρω την ακρίβεια των αποτελεσμάτων και για το λόγο αυτό, ορίστηκε ίσος με 10.



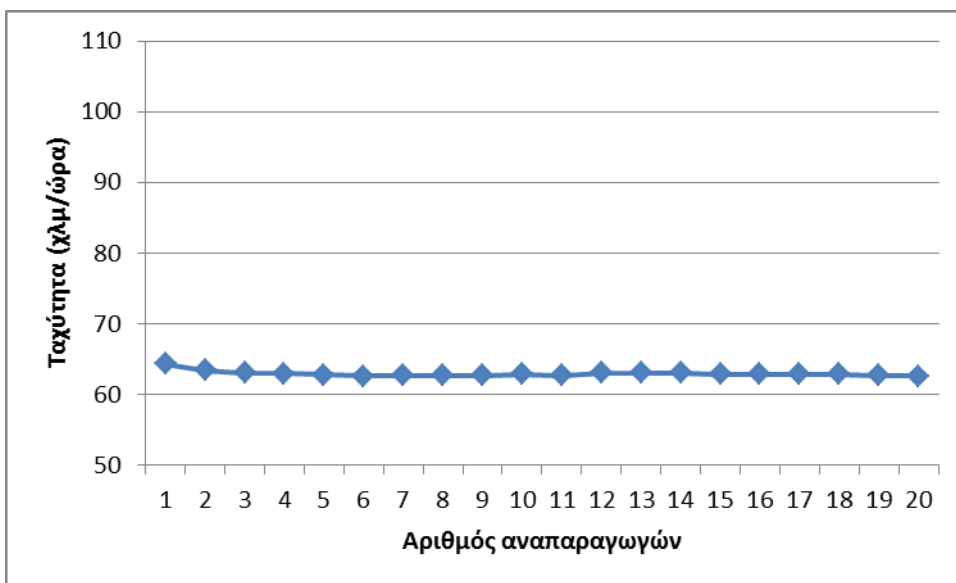
Διάγραμμα 3.5: Μέση καθυστέρηση οδικού δικτύου για χαμηλό φόρτο και ποσοστό δυνητικών παραβατών 100% συναρτήσε του αριθμού αναπαραγωγών.



Διάγραμμα 3.6: Μέση ταχύτητα οδικού δικτύου για χαμηλό φόρτο και ποσοστό δυνητικών παραβατών 100% συναρτήσε του αριθμού αναπαραγωγών.



Διάγραμμα 3.7: Μέση καθυστέρηση οδικού δικτύου για υψηλό φόρτο και ποσοστό δυνητικών παραβατών 100% συναρτήσεσι του αριθμού αναπαραγωγών.



Διάγραμμα 3.8: Μέση ταχύτητα οδικού δικτύου για υψηλό φόρτο και ποσοστό δυνητικών παραβατών 100% συναρτήσεσι του αριθμού αναπαραγωγών.

### 3.2.3 Τελικά Σενάρια Προσομοίωσης

Έχοντας προσδιορίσει τις τιμές όλων των παραμέτρων που πρόκειται να εξεταστούν στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εργασίας, έχουμε πλέον καταλήξει στο σύνολο των τελικών σεναρίων. Για αυτά τα σενάρια θα πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες προσομοιώσεις και κατόπιν θα αναλυθούν τα αποτελέσματα που θα προκύψουν.

Όπως περιγράφηκε στην ενότητα 3.2.2, επελέγη να εξεταστούν συνολικά 11 περιπτώσεις φόρτισης του δικτύου που περιλαμβάνουν από συνθήκες χαμηλού φόρτου έως και πολύ υψηλού. Το μέγεθος το οποίο χρησιμοποιήθηκε για να εκφράσει τις διαφορετικές κυκλοφοριακές συνθήκες στο δίκτυο και οι τιμές του οποίου μεταβάλλονταν στα σενάρια ήταν ο βαθμός κορεσμού. Οι τιμές του βαθμού κορεσμού στα τελικά σενάρια προσομοίωσης επελέγη να είναι από 0,5 έως 1,5 και το βήμα μεταβολής των τιμών ορίστηκε τελικά σε 0,1.

Πίνακας 3.6: Τελικά σενάρια φόρτισης του δικτύου.

Σενάριο	Βαθμός Κορεσμού
1	0,5
2	0,6
3	0,7
4	0,8
5	0,9
6	1
7	1,1
8	1,2
9	1,3
10	1,4
11	1,5



Σχετικά με τη δεύτερη παράμετρο επιρροής που αναλύθηκε στις προηγούμενες παραγράφους, το ποσοστό των οχημάτων που χρησιμοποιούν τη ΛΕΑ ως κανονική λωρίδα κυκλοφορίας, επελέγη να μεταβάλλεται ανά 10% και να χρησιμοποιηθούν τιμές από 0% έως και 100%. Συνεπώς προκύπτουν και για αυτή την παράμετρο 11 διαφορετικές περιπτώσεις.

Πίνακας 3.7: Τελικά σενάρια για το ποσοστό δυνητικών παραβατών.

Σενάριο	Ποσοστό δυνητικών παραβατών
1	0%
2	10%
3	20%
4	30%
5	40%
6	50%
7	60%
8	70%
9	80%
10	90%
11	100%

Η τρίτη παράμετρος επιρροής η οποία επελέγη να εξεταστεί στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας ήταν το ποσοστό των οχημάτων που εκτελούν έναν ελιγμό αλλαγής λωρίδας χρησιμοποιώντας ένα διάκενο μεγαλύτερο από το απαραίτητο, δηλαδή το ποσοστό των οχημάτων που υποεκτιμούν την επιβράδυνση των ανάντη οχημάτων και θεωρούν μικρότερα διάκενα από τα πραγματικά. Οι τιμές που κρίθηκε σκόπιμο να εξεταστούν για την επιρροή της παραμέτρου αυτής στο δίκτυο ήταν οι τιμές 0%, 50% και 100%.

Πίνακας 3.8: Τελικά σενάρια παραμέτρου «imprudent lane changing».

Σενάριο	Παράμετρος αλλαγής λωρίδας
1	0%
2	50%
3	100%

Όπως αναφέρθηκε και στη ενότητα 3.2.2, σχετικά με την παράμετρο του μέγιστου χρόνου παραχώρησης προτεραιότητας (maximum give-way time), μεταβάλλοντας τις τιμές του κατά τις δοκιμαστικές προσομοιώσεις δεν παρατηρήθηκε αξιοσημείωτη επιρροή στη λειτουργία του δικτύου. Συνεπώς η συγκεκριμένη παράμετρος δεν χρησιμοποιήθηκε στα τελικά σενάρια προσομοίωσης.

Συνοψίζοντας λοιπόν, προκειμένου να εξεταστούν οι 11 διαφορετικές περιπτώσεις φόρτισης του δικτύου για 11 διαφορετικά ποσοστά οδηγών που χρησιμοποιούν τη ΛΕΑ σε συνδυασμό και με τις τρεις περιπτώσεις που προέκυψαν για την παράμετρο αλλαγής λωρίδας, προέκυψαν συνολικά 363 τελικά σενάρια προσομοίωσης, για καθένα από τα οποία εκτελέστηκαν 10 αναπαραγωγές. Τα σενάρια αυτά, όπως και τα σενάρια των δοκιμαστικών προσομοιώσεων, δημιουργήθηκαν στο περιβάλλον του Aimsun σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται στην ενότητα 3.2.4.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι, ενώ στην πραγματικότητα σε περιπτώσεις χαμηλού κυκλοφοριακού φόρτου δεν παρατηρούνται παραβάσεις της χρήσης της ΛΕΑ, στα πλαίσια της παρούσας εργασίας εξετάστηκαν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί ποσοστού παραβατών και επιπέδου φόρτισης του δικτύου.

### 3.2.4 Δημιουργία Σεναρίων στο Aimsun

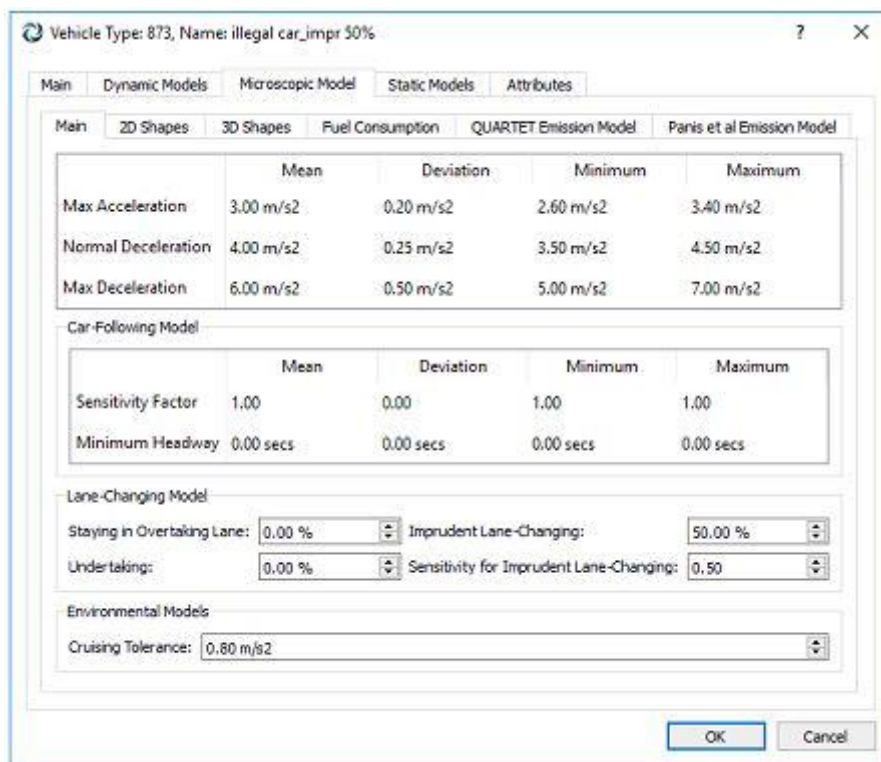
Αφού έχουν αποφασιστεί οι τιμές των παραμέτρων που θα εξεταστούν και έχουν σχεδιαστεί τα τελικά σενάρια, σειρά έχει η δημιουργία των σεναρίων στο περιβάλλον του λογισμικού που χρησιμοποιείται και στην προκειμένη περίπτωση, στο Aimsun.

Ένα σενάριο στο Aimsun θα πρέπει να περιλαμβάνει υποχρεωτικά μία κυκλοφοριακή ζήτηση (Traffic Demand). Η κυκλοφοριακή ζήτηση δημιουργείται ενσωματώνοντας σε αυτή μία ή περισσότερες κυκλοφοριακές καταστάσεις (Traffic States) ή έναν ή περισσότερους πίνακες προέλευσης-προορισμού (OD Matrices). Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν κυκλοφοριακές καταστάσεις.

Οι κυκλοφοριακές καταστάσεις (Traffic States) δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας τον τύπο οχήματος «Illegal car» που είχε δημιουργηθεί προηγουμένως, και τον τύπο οχήματος «car» που προυπήρχε στο συγκεκριμένο template που χρησιμοποιήθηκε ενώ επίσης δημιουργήθηκαν και ορισμένοι ακόμη τύποι οχήματος (Vehicle Types) για την εισαγωγή της παραμέτρου αλλαγής λωρίδας. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι δε χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές κατηγορίες οχημάτων παρά μόνο IX καθώς ο κυκλοφοριακός φόρτος θεωρήθηκε ότι εκφράζεται σε ΜΕΑ.

Πιο συγκεκριμένα, οι τύποι οχήματος που χρησιμοποιήθηκαν ήταν συνολικά 6. Τρεις από αυτούς αντιστοιχούσαν στα οχήματα που ενδέχεται να εισέλθουν στη ΛΕΑ, αφορούν δηλαδή στους δυνητικούς παραβάτες, και οι άλλοι τρεις αντιστοιχούσαν στα οχήματα που δεν εισέρχονται στη ΛΕΑ. Ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιήθηκαν τρεις τύποι οχήματος για κάθε είδος χρηστών (νόμιμοι και δυνητικοί παραβάτες) αφορά στην εισαγωγή διαφορετικών τιμών της παραμέτρου αλλαγής λωρίδας. Πιο συγκεκριμένα, οι τύποι οχήματος «car» και «illegal car» αντιστοιχούν σε τιμή της παραμέτρου 0%, οι τύποι «car\_impr50%» και «illegal car\_impr50%» σε ποσοστό 50% και οι τύποι «car\_impr100%» και «illegal car\_impr100%» σε 100%.

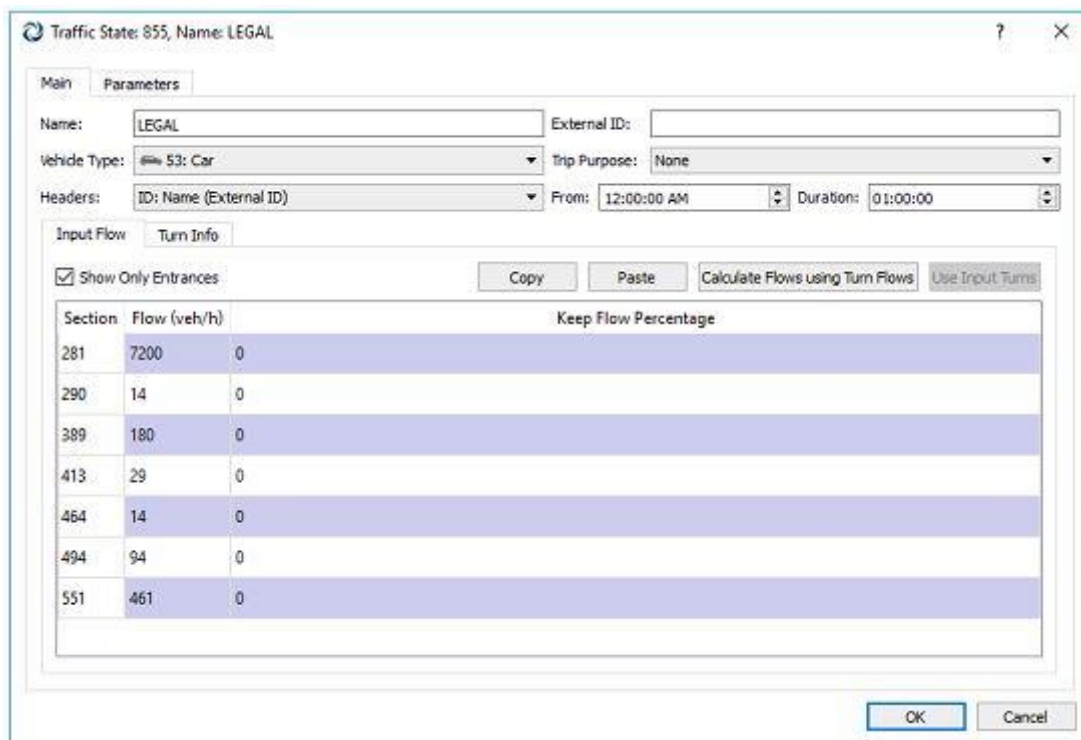
Η τιμή της παραμέτρου αλλαγής λωρίδας (Imprudent Lane-Changing) ορίστηκε για κάθε τύπο οχήματος από την καρτέλλα «Microscopic Model» στην οποία περιλαμβάνονται οι παράμετροι που αφορούν στα μοντέλα που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα για τη μικροσκοπική προσομοίωση. Στην Εικόνα 3.14 απεικονίζεται ενδεικτικά η εισαγωγή της τιμής 50% για τον αντίστοιχο τύπο οχήματος.



Εικόνα 3.14: Ορισμός παραμέτρου αλλαγής λωρίδας (Imprudent lane-Changing).

Για καθέναν από τους παραπάνω τύπους οχήματος δημιουργήθηκε μία κυκλοφοριακή κατάσταση (Traffic state), συνεπώς προέκυψαν συνολικά έξι κυκλοφοριακές καταστάσεις. Για κάθε μία από αυτές, αρχικά έγινε η επιλογή του τύπου οχήματος κι έπειτα η εισαγωγή του αριθμού των οχημάτων για κάθε τμήμα που αποτελεί είσοδο στο δίκτυο. Επίσης, καθορίστηκε και ο αριθμός των οχημάτων που στρίβουν ή συνεχίζουν ευθεία για κάθε επόμενο τμήμα. Κατά τη δημιουργία του traffic state δίνεται επίσης η δυνατότητα να οριστεί η ώρα έναρξης, η οποία όμως στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν είχε κάποια σημασία και για αυτό διατήρησε την προκαθορισμένη από το πρόγραμμα τιμή, και η διάρκεια της προσομοίωσης η οποία ήταν 1 ώρα.

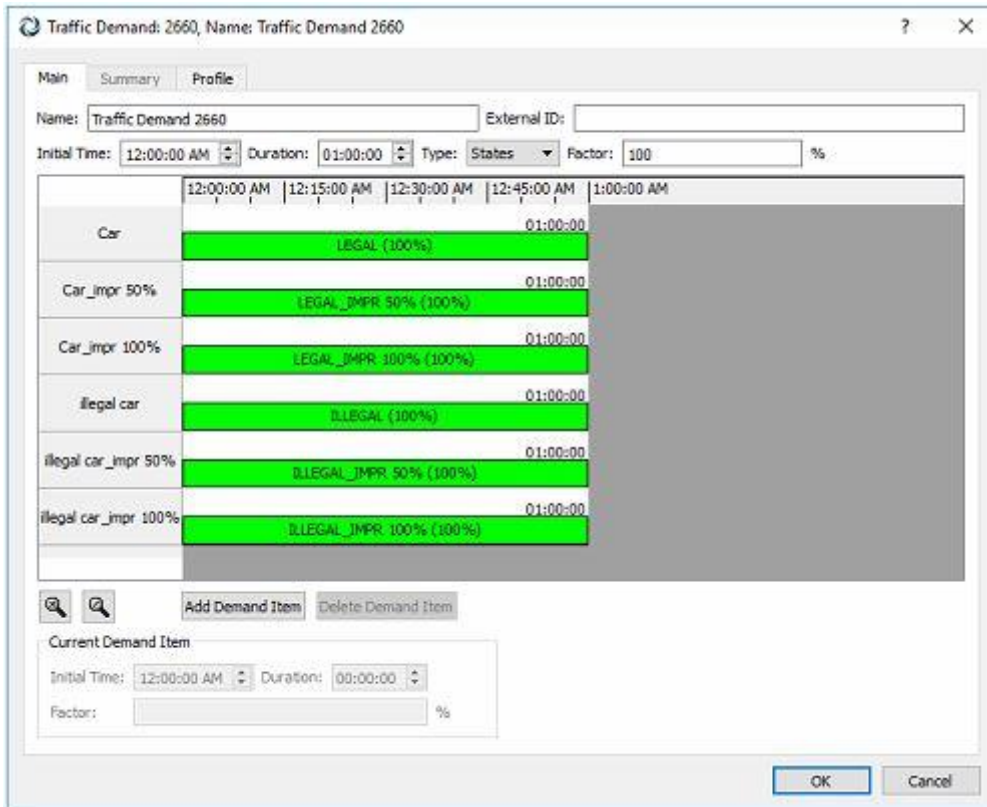
Οι κυκλοφοριακές καταστάσεις δημιουργήθηκαν για επίπεδο φόρτισης που προκύπτει από βαθμό κορεσμού  $\frac{v}{c} = 1$ . Δεν ήταν απαραίτητη η δημιουργία κυκλοφοριακών καταστάσεων και για τα άλλα επίπεδα φόρτισης, διότι το Aimsun δίνει τη δυνατότητα τροποποίησης του φόρτου μέσω της καρτέλας της κυκλοφοριακής ζήτησης (Traffic Demand) όπως αναλύεται παρακάτω.



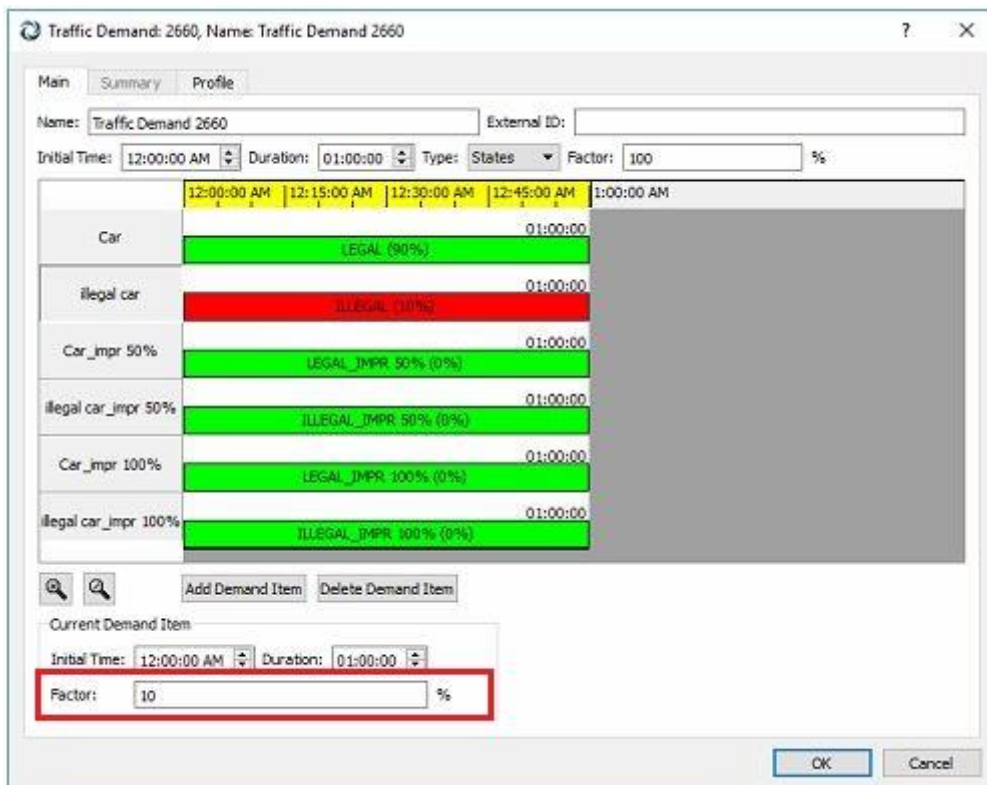
Εικόνα 3.15: Δημιουργία κυκλοφοριακής κατάστασης (Traffic State).

Τη δημιουργία των κυκλοφοριακών καταστάσεων ακολούθησε η δημιουργία της κυκλοφοριακής ζήτησης (Traffic Demand). Αρχικά ορίστηκε η χρήση κυκλοφοριακών καταστάσεων αντί για πίνακες προέλευσης-προορισμού από το σχετικό μενού στην επιλογή «Type» και κατόπιν προστέθηκαν οι έξι καταστάσεις που είχαν δημιουργηθεί. Ορίζοντας το ποσοστό του παράγοντα «Factor» άνω δεξιά του παραθύρου, καθορίζονταν το επίπεδο φόρτισης για κάθε σενάριο. Για παράδειγμα, για βαθμό κορεσμού ίσο με 0,5 συμπληρώνονταν στο συγκεκριμένο πεδίο η τιμή 50%. Αντίστοιχα μεταβάλλονταν τα ποσοστά και για τα υπόλοιπα σενάρια.

Με την επιλογή μίας από τις κυκλοφοριακές καταστάσεις που έχουν εισαχθεί στην κυκλοφοριακή ζήτηση, δίνεται η δυνατότητα, μέσω του πεδίου «Factor» στο κάτω μέρος της καρτέλας, να τροποποιηθεί το ποσοστό του φόρτου κάθε τύπου οχήματος που χρησιμοποιείται στην προσομοίωση. Με αυτό τον τρόπο μεταβάλλονταν τα ποσοστά των οχημάτων που χρησιμοποιούν τη ΛΕΑ για κάθε σενάριο. Στην εικόνα 3.17 παρουσιάζεται ο φάκελος του Traffic Demand που δημιουργείται για σενάριο στο οποίο το επίπεδο φόρτισης προκύπτει από βαθμό κορεσμού ίσο με 1 και το ποσοστό των οχημάτων που χρησιμοποιούν τη ΛΕΑ για την κίνησή τους είναι 10%.

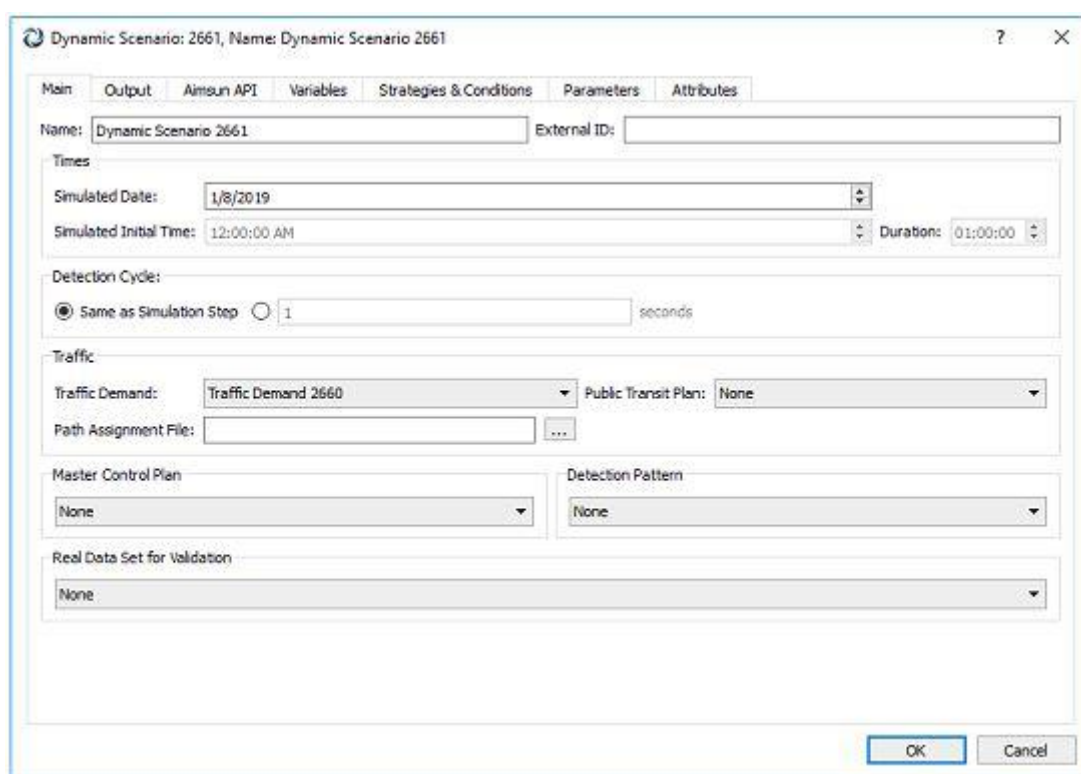


Εικόνα 3.16: Δημιουργία κυκλοφοριακής ζήτησης (Traffic Demand).



Εικόνα 3.17: Τροποποίηση ποσοστού φόρτου για συγκεκριμένο τύπο οχήματος.

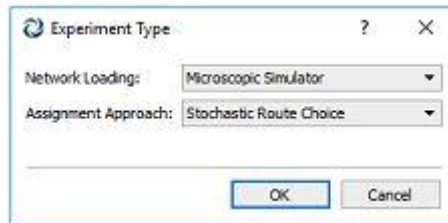
Κάθε σενάριο στο Aimsun μπορεί να περιλαμβάνει, εκτός από την κυκλοφοριακή ζήτηση που είναι απαραίτητη, και ένα σχέδιο ελέγχου της κυκλοφορίας, ένα σχέδιο δημόσιων μεταφορών κ.ά τα οποία ορίζονται μέσα από το φάκελο του σεναρίου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, μοναδικό δεδομένο εισόδου για τα σενάρια αποτέλεσε η κυκλοφοριακή ζήτηση. Μέσα από το φάκελο του σεναρίου δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να καθορίσει, μεταξύ άλλων, και τα δεδομένα εξόδου της προσομοίωσης καθώς και τον τρόπο αποθήκευσής τους σε μια βάση δεδομένων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, τα αποτελέσματα αποθηκεύονταν σε μια βάση δεδομένων SQL.



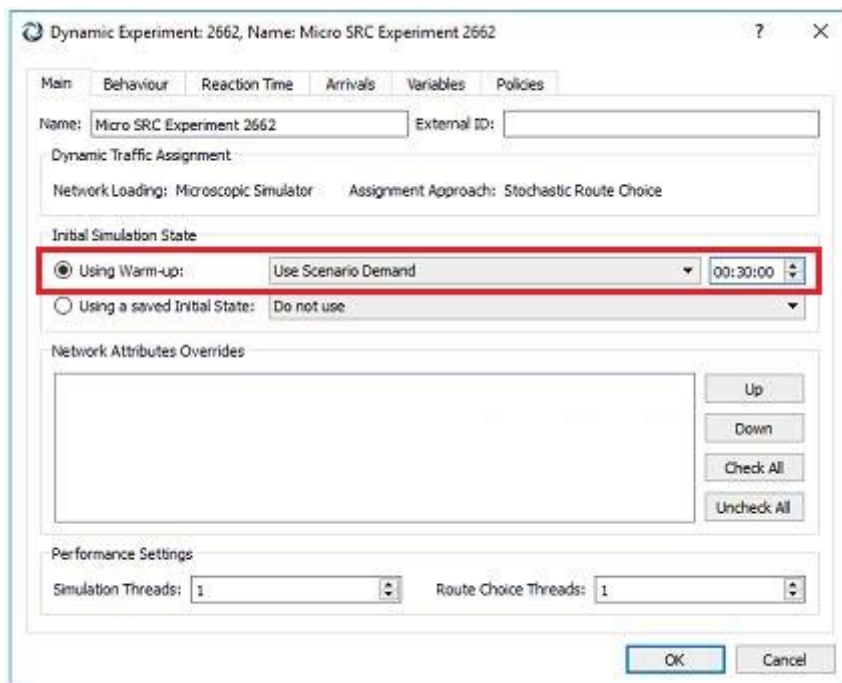
Εικόνα 3.18: Φάκελος δυναμικού σεναρίου (Dynamic Scenario).

Τα σενάρια που δημιουργήθηκαν ήταν δυναμικά καθώς αυτά χρησιμοποιούνται για τη μικροσκοπική προσομοίωση και για κάθε σενάριο δημιουργήθηκε επίσης ένα δυναμικό πείραμα και ένας αριθμός αναπαραγωγών. Στο φάκελο του πειράματος καθορίστηκε ο χρόνος προθέρμανσης (Warm-up), δηλαδή ένα χρονικό διάστημα που ορίζεται από το χρήστη προκειμένου να καλυφθεί το δίκτυο από έναν αριθμό οχημάτων και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης να είναι περισσότερο αντιπροσωπευτικά. Ο χρόνος αυτός συνήθως προκύπτει από την ταχύτητα και την απόσταση ως  $t = \frac{S}{v}$ . Στη συγκεκριμένη περίπτωση για τον υπολογισμό του χρόνου προθέρμανσης χρησιμοποιήθηκε η μικρότερη ταχύτητα που

εμφανίστηκε στο δίκτυο σε περιπτώσεις υψηλού φόρτου κατά τις δοκιμαστικές προσομοιώσεις προκειμένου να καλύψει σίγουρα όλες τις περιπτώσεις.



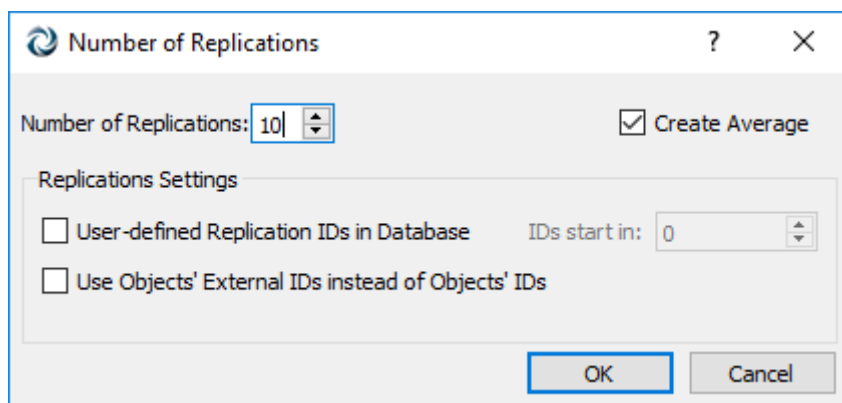
Εικόνα 3.19: Δημιουργία πειράματος (Experiment).



Εικόνα 3.20: Καθορισμός χρόνου προθέρμανσης πειράματος.

Για το πείραμα κάθε σεναρίου δημιουργήθηκε ένας συγκεκριμένος αριθμός αναπαραγωγών (Replications) και ο μέσος όρος αυτών (Average) (Εικόνα 3.21). Αυτό γίνεται προκειμένου να εξασφαλιστεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων των σεναρίων διότι λόγω της στοχαστικότητας των δυναμικών σεναρίων που χρησιμοποιούνται στη μικροσκοπική προσομοίωση, δε μπορούμε να έχουμε ακρίβεια με μια μόνο αναπαραγωγή.





Εικόνα 3.21: Δημιουργία αναπαραγωγών και μέσου όρου πειράματος.

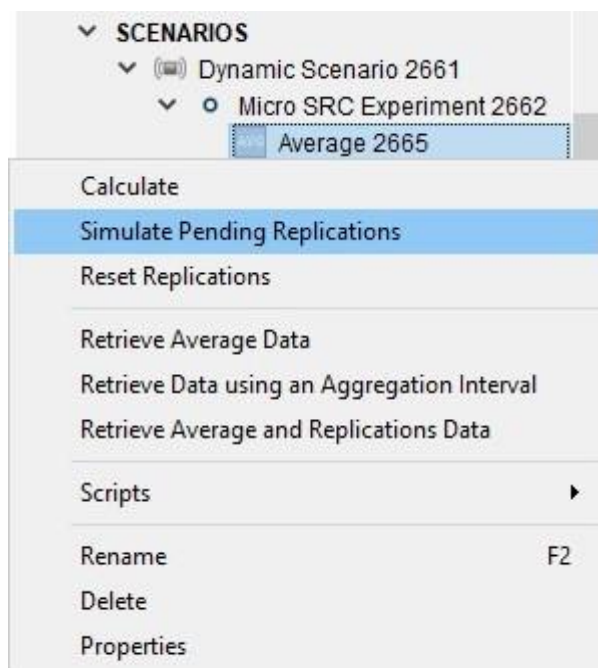
### 3.3 Προσομοιώσεις

Έχοντας σχεδιάσει το δίκτυο και τα σενάρια, σειρά έχει η εκτέλεση των προσομοιώσεων για τα τελικά σενάρια τα οποία έχουν δημιουργηθεί και η εξαγωγή των αποτελεσμάτων, τα οποία στη συνέχεια θα επεξεργαστούν και θα αναλυθούν.

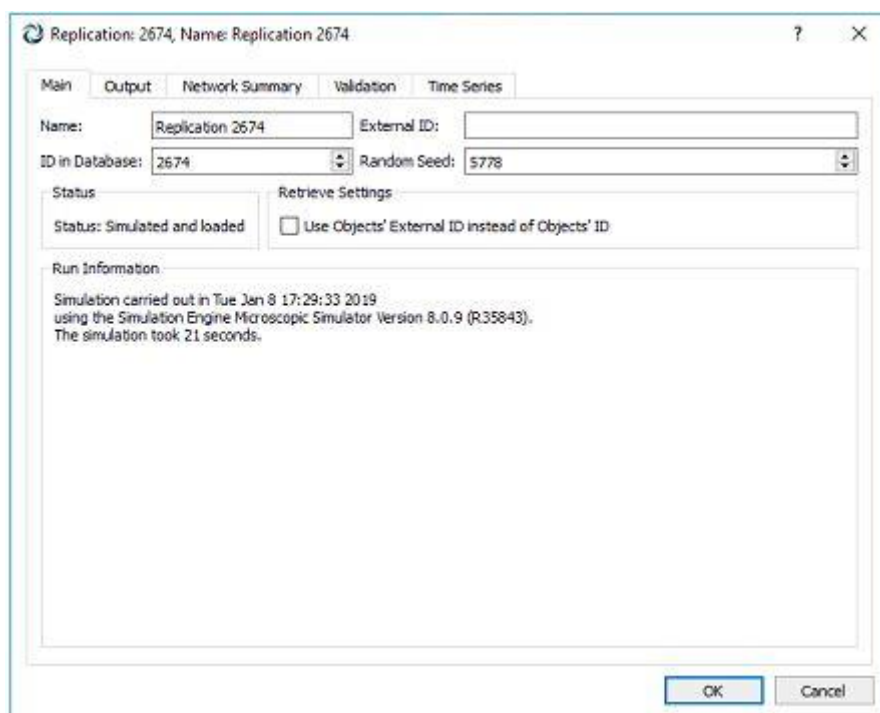
#### 3.3.1 Εκτέλεση Προσομοιώσεων

Το στοιχείο που προσομοιώνεται στο Aimsun είναι οι αναπαραγωγές, συνεπώς, έχοντας δημιουργήσει τον επιθυμητό αριθμό αναπαραγωγών και το μέσο όρο τους, η προσομοίωση ξεκινά επιλέγοντας από το μενού που εμφανίζεται για το μέσο όρο (Average), «Simulate Pending Replications» (Εικόνα 3.22).

Οι αναπαραγωγές προσομοιώνονται η μία μετά την άλλη και μετά την ολοκλήρωση καθεμιάς από αυτές μπορεί ο χρήστης επιλέγοντας μια συγκεκριμένη αναπαραγωγή να ανοίξει το σχετικό φάκελο στον οποίο περιλαμβάνονται όλες οι πληροφορίες που σχετίζονται με αυτή. Στην εικόνα 3.23 απεικονίζεται η κύρια καρτέλα του φακέλου μιας αναπαραγωγής στην οποία αναγράφεται, μεταξύ άλλων, ο αριθμός της αναπαραγωγής, η ημερομηνία και ώρα εκτέλεσης της προσομοίωσης και ο χρόνος προσομοίωσης. Στην καρτέλα «Network Summary» συνοψίζονται ορισμένα από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης τα οποία αφορούν στο σύνολο του δικτύου. Αναλυτικότερα τα αποτελέσματα αποθηκεύονται, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στη βάση δεδομένων η οποία έχει επιλεγεί.

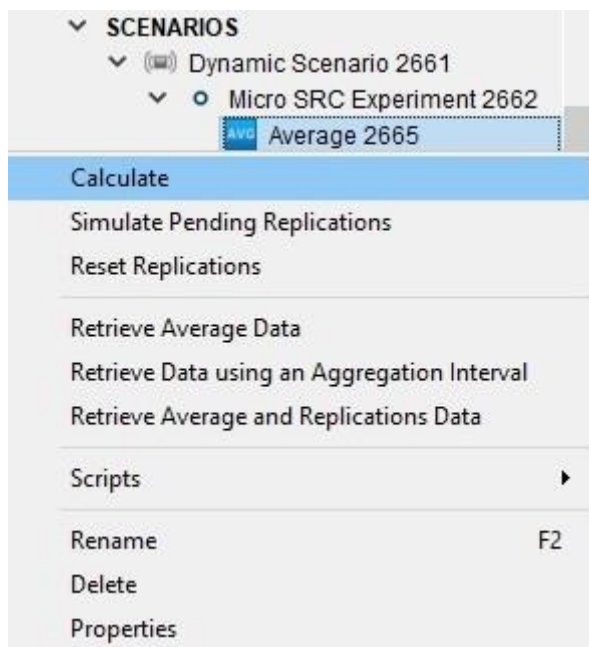


Εικόνα 3.22: Εκτέλεση προσομοιώσεων.



Εικόνα 3.23: Πληροφορίες αναπαραγωγής (Replication).

Μετά την ολοκλήρωση των προσομοιώσεων όλων των αναπαραγωγών ενός πειράματος ενός σεναρίου, υπολογίζεται ο μέσος όρος (Average). Αυτό γίνεται με την επιλογή «Calculate» από το μενού που εμφανίζεται με δεξί κλικ στο μέσο όρο (Εικόνα 3.24).



Εικόνα 3.24: Υπολογισμός μέσου όρου αναπαραγωγών (Average).

### 3.3.2 Η Βάση Δεδομένων

Το Aimsun δίνει τη δυνατότητα αποθήκευσης των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων σε μια βάση δεδομένων που θα επιλέξει ο χρήστης. Τα αποτελέσματα που εξάγονταν από τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας αποθηκεύονταν σε μια βάση δεδομένων SQL και, χρησιμοποιώντας ένα πρόγραμμα ειδικό για το συγκεκριμένο τύπο αρχείων, ήταν κατόπιν δυνατή η ανάγνωσή τους. Το πρόγραμμα αυτό επίσης έδινε τη δυνατότητα αναζήτησης των στοιχείων ενδιαφέροντος, πράγμα ιδιαίτερα χρήσιμο λόγω του μεγάλου όγκου των δεδομένων.

Η βάση δεδομένων που δημιουργείται, είτε προκειται για μικροσκοπική είτε για μεσοσκοπική ή μακροσκοπική προσομοίωση, έχει γενικά παρόμοια μορφή και περιλαμβάνει δύο ομάδες πινάκων, τους πίνακες των μεταδεδομένων και τους πίνακες των δεδομένων. Οι πίνακες των μεταδεδομένων περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με τα στοιχεία που αποθηκεύονται

στους πίνακες δεδομένων και έχουν κατά βάση στο όνομά τους το πρόθεμα META\_ . Οι πίνακες αυτοί δεν αποτελούν αντικείμενο ανάλυσης στην παρούσα περίπτωση. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων είναι αυτά που αποθηκεύονται στους πίνακες δεδομένων.

Οι πίνακες δεδομένων που αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων μετά το πέρας των προσομοιώσεων έχουν στο όνομά τους το πρόθεμα MI, αν πρόκειται για μικροσκοπική προσομοίωση, το πρόθεμα ME, αν πρόκειται για μεσοσκοπική και τα προθέματα MA και HY για μακροσκοπική και υβριδική αντίστοιχα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση που χρησιμοποιήθηκε μικροσκοπική προσομοίωση, οι πίνακες των αποτελεσμάτων είχαν το πρόθεμα MI.

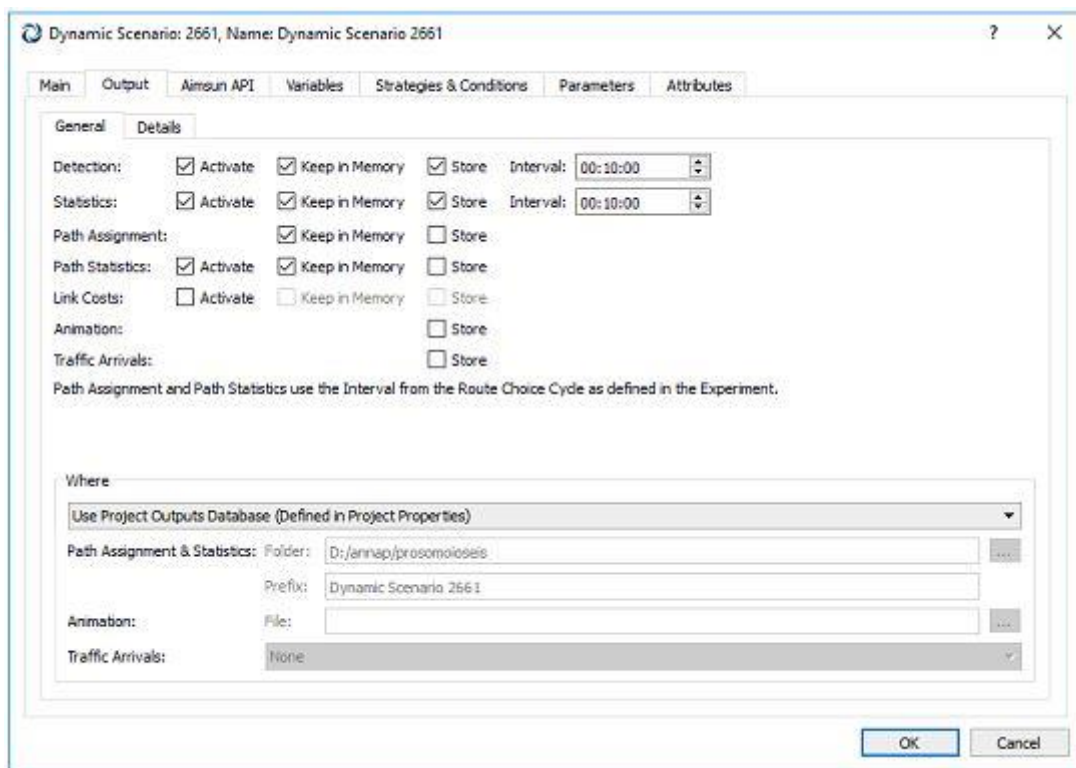
Όλοι οι πίνακες περιλαμβάνουν στην αρχή κάποια κοινά πεδία που αφορούν γενικά στοιχεία, όπως για παράδειγμα έναν αναγνωριστικό αριθμό για την αναπαραγωγή που εξήγαγε τα αποτελέσματα κ.ά. και ακολουθούν τα πεδία με τα αποτελέσματα. Τα μεγέθη για τα οποία το πρόγραμμα υπολογίζει, εκτός από την τιμή, και την τυπική απόκλιση, εμφανίζονται σε δύο πεδία και το πεδίο που περιλαμβάνει την τυπική απόκλιση παίρνει το επίθεμα \_D .

Καθένας από τους πίνακες δεδομένων περιλαμβάνει δεδομένα για διαφορετικό επίπεδο ανάλυσης. Για παράδειγμα, ένας πίνακας περιλαμβάνει τα αποτελέσματα για το συνολικό δίκτυο ανά χρονική περίοδο (MISYS), ένας άλλος συγκεντρώνει τα αποτελέσματα ανά οδικό τμήμα ανά περίοδο (MISECT), άλλος περιλαμβάνει τα αποτελέσματα ανά λωρίδα (MILANE) κ.ά.

Το Aimsun δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να καθορίσει, μέσω της καρτέλλας «Output» του φακέλου ενός σεναρίου, τα χρονικά διαστήματα (Time Interval) για τα οποία το πρόγραμμα θα συγκεντρώνει στατιστικά στοιχεία (Εικόνα 3.25). Στην προκειμένη περίπτωση, ορίστηκαν διαστήματα των 10 λεπτών και δεδομένου ότι ο χρόνος προσομοίωσης ήταν 1 ώρα, έχουμε 6 χρονικά διαστήματα για τα οποία υπολογίζονται τιμές για όλα τα μεγέθη που περιλαμβάνονται στα αποτελέσματα. Επίσης, υπολογίζονται και οι τιμές των μεγεθών για το σύνολο των διαστημάτων, δηλαδή το συνολικό χρόνο της προσομοίωσης.

Επιπλέον, τα στοιχεία συγκεντρώνονται και υπολογίζονται και ανά τύπο οχήματος ανάλογα με τους τύπους οχήματος που έχουν χρησιμοποιηθεί από το χρήστη. Στην προκειμένη περίπτωση διακρίνονταν 6 τύποι οχήματος, οι οποίοι αντιστοιχούν στους οδηγούς που δε

χρησιμοποιούν τη ΛΕΑ και σε αυτούς που τη χρησιμοποιούν και η τιμή της παραμέτρου αλλαγής λωρίδας ορίστηκε σε 0%, 50% και 100% αντίστοιχα.



Εικόνα 3.25: Καθορισμός χρονικού διαστήματος συλλογής στατιστικών δεδομένων.

### 3.3.3 Εξαγωγή Αποτελεσμάτων

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας εξετάστηκαν οι πίνακες MISYS και MILANE της βάσης δεδομένων, των οποίων η ανάλυση αφορούσε στο συγκεκριμένο αντικείμενο μελέτης.

Ο πίνακας MISYS αφορά στο συνολικό δίκτυο και συγκεντρώνει τα στατιστικά στοιχεία που έχουν προκύψει για το σύνολο του δικτύου ανά χρονικό διάστημα και για το σύνολο των χρονικών διαστημάτων και επίσης ανά τύπο οχήματος και για το σύνολο των οχημάτων. Ο πίνακας MILANE συγκεντρώνει τα αποτελέσματα ανά λωρίδα για κάθε λωρίδα που υπάρχει σε κάθε οδικό τμήμα ανά χρονικό διάστημα και για το σύνολο των χρονικών διαστημάτων και επίσης ανά τύπο οχήματος και για το σύνολο των οχημάτων.

Από τον πίνακα MILANE (Πίνακας 3.9) χρησιμοποιήθηκαν τα πεδία που αφορούν στη μέση ταχύτητα (speed) και τον κυκλοφοριακό φόρτο (flow), προκειμένου να υπολογιστεί, όπως

αναλύεται παρακάτω, για κάθε λωρίδα η μέση ταχύτητα. Από το σύνολο των πεδίων που περιλαμβάνει ο πίνακας MISYS (Πίνακας 3.10) επελέγησαν αυτά που αντιστοιχούν στα μεγέθη με βάση τα οποία θα γίνει στη συνέχεια η ανάλυση των αποτελεσμάτων. Πιο συγκεκριμένα, τα πεδία αυτά αφορούσαν στη μέση καθυστέρηση (dtime), τη μέση ταχύτητα (speed), το μέσο χρόνο μετακίνησης (ttime) και τον κυκλοφοριακό φόρτο (flow).

Πίνακας 3.9: Γενική μορφή πίνακα MILANE.

Πεδίο	Περιγραφή
did	Αναγνωριστικό αναπαραγωγής ή μέσου όρου
oid	Αναγνωριστικό οδικού τμήματος
eid	Εξωτερικό ID οδικού τμήματος
sid	Τύπος οχήματος (από 0 για όλα τα οχήματα ως τον αριθμό των τύπων οχήματος που έχουν οριστεί)
ent	Χρονικό διάστημα (από 1 έως τον αριθμό των διαστημάτων και 0 για το άθροισμα όλων)
lane	Αναγνωριστικό λωρίδας (από 1 έως τον αριθμό των λωρίδων)
flow	Κυκλοφοριακός φόρτος (οχ/ώρα)
density	Πυκνότητα (οχ/χλμ)
qmean	Μέσο μήκος ουράς αναμονής (οχ.)
qmax	Μέγιστο μήκος ουράς αναμονής (οχ.)
speed	Μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
spdh	Αρμονική μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
ttime	Μέσος χρόνος μετακίνησης (δλ)

Πίνακας 3.10: Γενική μορφή πίνακα MISYS.

Πεδίο	Περιγραφή
did	Αναγνωριστικό αναπαραγωγής ή μέσου όρου
oid	Αναγνωριστικό αναπαραγωγής ή μέσου όρου
eid	Εξωτερικό ID αναπαραγωγής ή μέσου όρου
sid	Τύπος οχήματος (από 0 για όλα τα οχήματα ως τον αριθμό των τύπων οχήματος που έχουν οριστεί)
ent	Χρονικό διάστημα (από 1 έως τον αριθμό των διαστημάτων και 0 για το άθροισμα όλων)
density	Πυκνότητα (οχ/χλμ)
flow	Κυκλοφοριακός φόρτος (οχ/ώρα)
ttime	Μέσος χρόνος μετακίνησης (δλ/χλμ)
dtime	Μέση καθυστέρηση (δλ/χλμ)
speed	Μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
spdh	Αρμονική μέση ταχύτητα (χλμ/ώρα)
travel	Συνολική απόσταση που διανύθηκε (χλμ)
Traveltime	Συνολικός χρόνος μετακίνησης (ώρες)
vWait	Αριθμός οχημάτων που περιμένουν να εισέλθουν στο δίκτυο
vIn	Αριθμός οχημάτων μέσα στο δίκτυο
vOut	Αριθμός οχημάτων που έχουν εξέλθει από το δίκτυο
qmean	Μέση ουρά αναμονής (οχ.)
qnmean	Μέση εικονική ουρά (οχ.)
qnmax	Μέγιστη εικονική ουρά (οχ.)
stime	Μέσος χρόνος στάσης (δλ/χλμ)
fuelc	Συνολική κατανάλωση καυσίμων
nstops	Αριθμός στάσεων ανά όχημα

Για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας επιλογής συγκεκριμένων στοιχείων από ορισμένους από τους πίνακες της βάσης δεδομένων, προγραμματίστηκαν δύο κώδικες στο περιβάλλον του Matlab. Ο ένας κώδικας εξήγαγε από τον πίνακα MISYS τα αποτελέσματα των μεγεθών με βάση τα οποία θα γίνει στη συνέχεια η ανάλυση του συνολικού δικτύου και ο δεύτερος κώδικας υπολόγιζε τη μέση ταχύτητα ανά λωρίδα, χρησιμοποιώντας ορισμένες τιμές που εξήγαγε από τον πίνακα MILANE.

Πιο συγκεκριμένα, ο πρώτος κώδικας εξήγαγε και αποθήκευε σε ένα αρχείο .xls τις τιμές της μέσης καθυστέρησης (delay), της μέσης ταχύτητας (speed) και του κυκλοφοριακού φόρτου (flow) που υπολογίζονται για το μέσο όρο των αναπαραγωγών κάθε σεναρίου. Οι τιμές αυτές αφορούσαν στο σύνολο των χρονικών διαστημάτων, δηλαδή το συνολικό χρόνο της προσομοίωσης, και στο σύνολο των οχημάτων.

Ο δεύτερος κώδικας επέλεγε από τον πίνακα MILANE τις τιμές του κυκλοφοριακού φόρτου (flow) και της μέσης ταχύτητας (speed) για τα οδικά τμήματα που απαρτίζουν κάθε λωρίδα και υπολόγιζε τη μέση ταχύτητα για κάθε λωρίδα ως ένα σταθμισμένο μέσο όρο:

$$\text{Μέση ταχύτητα}_i = \frac{\sum_{j=1}^n \text{φόρτος}_j * \text{μέση ταχύτητα}_j}{\sum_{j=1}^n \text{φόρτος}}$$

Όπου:

$i$  : η λωρίδα (από 1 για την άκρα αριστερά λωρίδα έως 4 για την άκρα δεξιά λωρίδα)

$j$  : το οδικό τμήμα (από 1 έως τον αριθμό των οδικών τμημάτων που απαρτίζουν τη λωρίδα).



## 4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από τις προσομοιώσεις των τελικών σεναρίων που δημιουργήθηκαν στο κεφάλαιο 3. Επιπλέον, παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εκτέλεση ορισμένων δοκιμαστικών προσομοιώσεων σε δίκτυο χωρίς εισόδους και εξόδους, με συνεχή ΛΕΑ, προκειμένου να γίνει η σύγκριση με την πραγματική κατάσταση του δικτύου. Η ανάλυση πραγματοποιείται σε δύο επίπεδα. Στην ενότητα 4.1 περιγράφεται η ανάλυση σε επίπεδο οδικού δικτύου συνολικά, ενώ στην ενότητα 4.2 παρουσιάζεται η ανάλυση ανά λωρίδα κίνησης. Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε με βάση τα μεγέθη της μέσης καθυστέρησης, της μέσης ταχύτητας και του κυκλοφοριακού φόρτου.

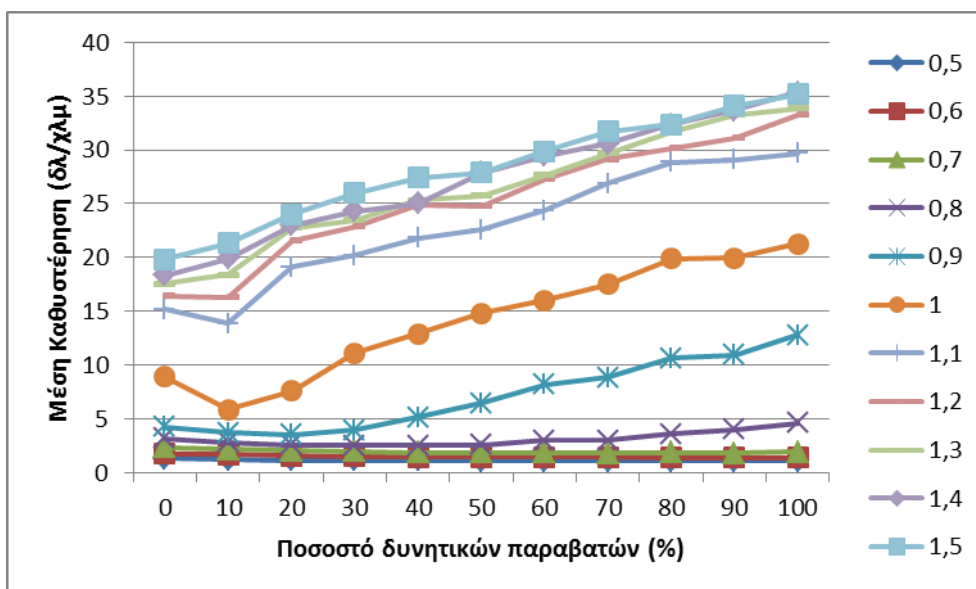
### 4.1 Ανάλυση σε Επίπεδο Οδικού Δικτύου

Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων που αφορούν στο συνολικό οδικό δίκτυο, ορισμένα από τα μεγέθη που χρησιμοποιήθηκαν, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ήταν η μέση καθυστέρηση και η μέση ταχύτητα. Η μέση καθυστέρηση αποτελεί κατά βάση ένα καθολικό μέγεθος που χρησιμοποιείται για την αποτύπωση των κυκλοφοριακών συνθηκών σε οποιοδήποτε είδος οδικού δικτύου και η μέση ταχύτητα είναι ένα ιδιαίτερα χρήσιμο μέγεθος και κυρίως στη συγκεκριμένη περίπτωση που το οδικό δίκτυο είναι ένα τμήμα αυτοκινητοδρόμου.

Η μέση καθυστέρηση εκφράζει τη διαφορά του χρονικού διαστήματος που χρειάζεται ένα όχημα για να διανύσει μια απόσταση μέσα στο οδικό δίκτυο υπό ιδανικές κυκλοφοριακές συνθήκες από το χρόνο που χρειάζεται υπό τις δεδομένες συνθήκες κυκλοφορίας και κίνησης. Η τιμή της μέσης καθυστέρησης για το συνολικό δίκτυο προκύπτει ως ο μέσος όρος των τιμών που υπολογίζονται για κάθε όχημα ξεχωριστά.

Η μέση ταχύτητα του συνολικού δικτύου προκύπτει, επίσης, ως ο μέσος όρος των τιμών όλων των οχημάτων που έχουν διέλθει από το δίκτυο, οι οποίες υπολογίζονται ως το πηλίκο της απόστασης που διένυσε κάθε όχημα προς τη διαφορά του χρόνου εξόδου του από το δίκτυο από το χρόνο εισόδου του σε αυτό.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζεται η μέση καθυστέρηση και η μέση ταχύτητα για το συνολικό δίκτυο συναρτήσει του ποσοστού παραβατών σε 11 διαφορετικά επίπεδα φόρτισης του δικτύου. Τα επίπεδα αυτά αφορούν, όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, βαθμούς κορεσμού από 0,5 έως και 1,5.

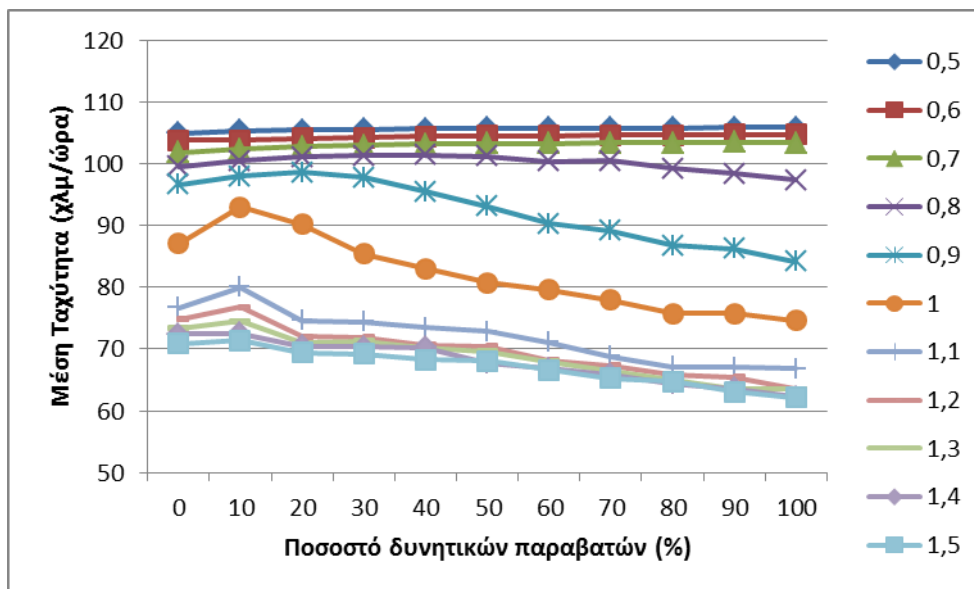


Διάγραμμα 4.1: Μέση καθυστέρηση οδικού δικτύου συναρτήσει του ποσοστού δυνητικών παραβατών για διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου (τιμή παραμέτρου αλλαγής λωρίδας 0%).

Όπως παρατηρείται στο διάγραμμα 4.1, η τιμή της μέσης καθυστέρησης δεν επηρεάζεται από την αύξηση του ποσοστού παραβατών για επίπεδα φόρτισης που προκύπτουν από βαθμούς κορεσμού 0,5, 0,6 και 0,7 και παραμένει σε χαμηλά επίπεδα. Αντίθετα, από το βαθμό κορεσμού 0,8 και πάνω, παρατηρείται ότι η τιμή της καθυστέρησης επηρεάζεται από τη μεταβολή του ποσοστού παραβατών. Ωστόσο, η επιρροή είναι διαφορετική για κάθε επίπεδο φόρτισης.

Πιο συγκεκριμένα, για βαθμό κορεσμού 0,8 παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση της καθυστέρησης από το ποσοστό παραβατών 50% και έπειτα, η οποία κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα. Για βαθμό κορεσμού 0,9 η σταδιακή αύξηση της καθυστέρησης αρχίζει από το ποσοστό 30% για τους δυνητικούς παραβάτες και είναι πιο έντονη. Για υψηλότερα επίπεδα φόρτισης, δηλαδή για αυτά που προκύπτουν από βαθμούς κορεσμού 1 έως και 1,3, παρατηρείται μια τοπική μείωση της καθυστέρησης για ποσοστό παραβατών 10% ενώ στη

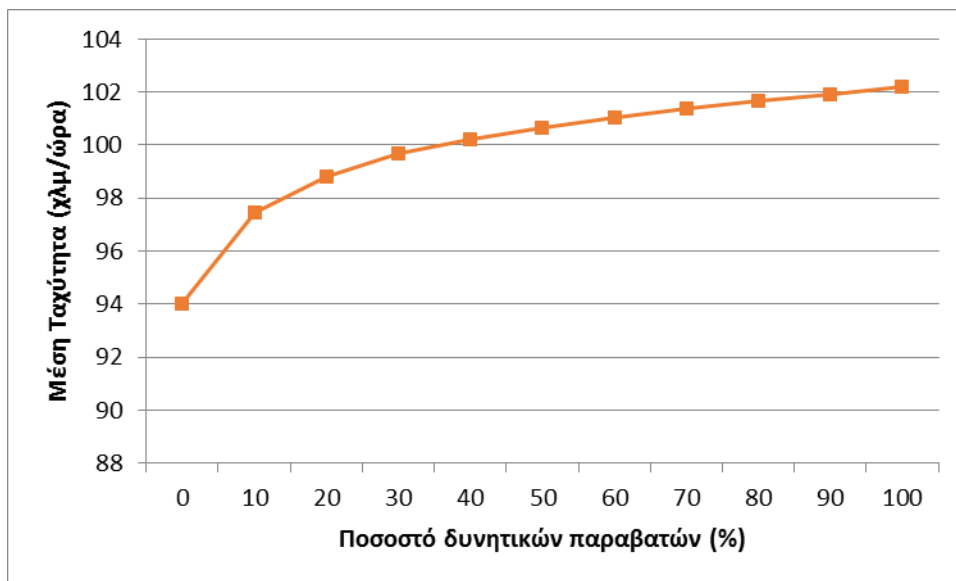
συνέχεια εμφανίζεται αύξηση. Τέλος, για βαθμούς κορεσμού 1,4 και 1,5, η μέση καθυστέρηση αυξάνεται σχεδόν σταθερά καθώς αυξάνεται το ποσοστό παραβατών.



Διάγραμμα 4.2: Μέση ταχύτητα οδικού δικτύου συναρτήσει του ποσοστού δυνητικών παραβατών για διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου (τιμή παραμέτρου αλλαγής λωρίδας 0%).

Για τη μέση ταχύτητα, όπως προκύπτει από το διάγραμμα 4.2, παρατηρείται μια οριακή αύξηση σε χαμηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους με την αύξηση του ποσοστού των παραβατών, σε αντίθεση με υψηλότερους, στους οποίους παρατηρείται μείωση. Για βαθμό κορεσμού 0,8, η τιμή αρχίζει να εμφανίζει μια μικρή μείωση για ποσοστά 50% και πάνω ενώ και για βαθμό 0,9 παρατηρείται μια μικρή αύξηση μέχρι ποσοστό παραβατών 20% και κατόπιν μια εντονότερη μείωση. Για υψηλότερα επίπεδα φόρτισης η ταχύτητα παρουσιάζει μια τοπική αύξηση για ποσοστό παραβατών 10%, η οποία είναι μικρότερη όσο αυξάνεται ο βαθμός κορεσμού, και κατόπιν ακολουθεί μια σχεδόν σταθερή μείωση.

Στο σημείο αυτό, αξίζει να παρατηρήσει κανείς τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τη μέση ταχύτητα του δικτύου από τις δοκιμαστικές προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν σε δίκτυο με συνεχή ΛΕΑ, στο οποίο δεν υπάρχουν κλάδοι εισόδου και εξόδου (Διάγραμμα 4.3). Τα αποτελέσματα αφορούν σε υψηλό επίπεδο φόρτισης (βαθμός κορεσμού 1).



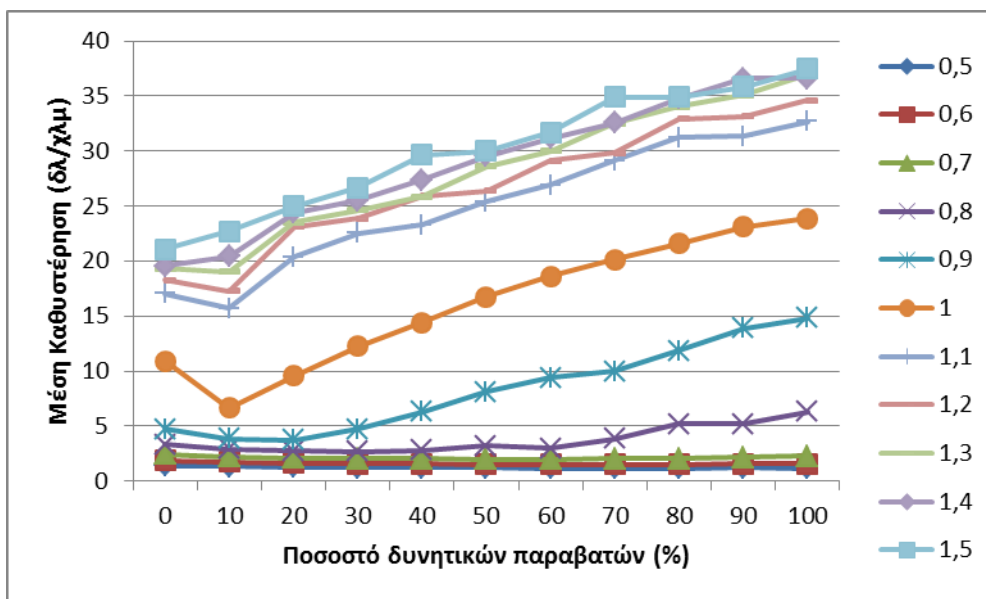
Διάγραμμα 4.3: Μέση ταχύτητα οδικού δικτύου με συνεχή ΛΕΑ συναρτήσεως του ποσοστού δυνητικών παραβατών για βαθμό κορεσμού 1.

Από το Διάγραμμα 4.3 παρατηρείται ότι στην περίπτωση που η ΛΕΑ είναι μία συνεχής λωρίδα και δε διακόπτεται από την ύπαρξη κλάδων εισόδου και εξόδου, η αύξηση του ποσοστού παραβατών προκαλεί αύξηση της μέσης ταχύτητας στο οδικό δίκτυο. Αυτό συμβαίνει διότι η ύπαρξη μίας επιπλέον λωρίδας αυξάνει την κυκλοφοριακή ικανότητα της οδού και τα οχήματα μοιράζονται πλέον σε τέσσερις λωρίδες αντί για τρεις, με αποτέλεσμα να επέρχεται αποσυμφόρηση.

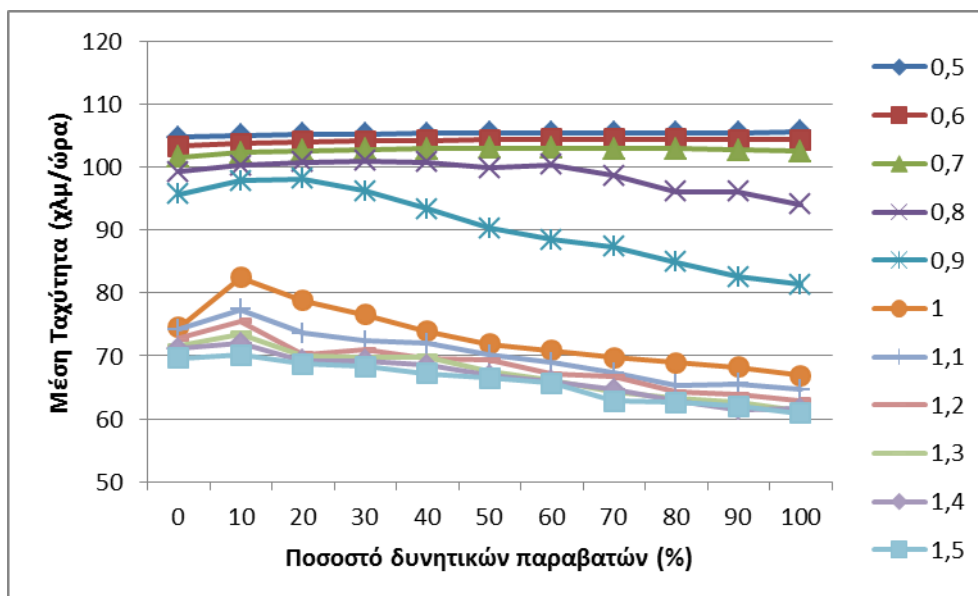
Αντίθετα, όπως παρατηρήθηκε στα διαγράμματα 4.1 και 4.2, σε συνθήκες υψηλού κυκλοφοριακού φόρτου στο πραγματικό δίκτυο, η αύξηση του ποσοστού παραβατών προκαλεί κατά βάση μείωση της μέσης ταχύτητας και αύξηση της καθυστέρησης. Αυτό συμβαίνει διότι λόγω της ύπαρξης κλάδων εισόδου/εξόδου, η ΛΕΑ διακόπτεται σε κάποια σημεία με αποτέλεσμα την ύπαρξη μεγάλου αριθμού ελιγμών μερισμού και συμβολών. Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό το γεγονός ότι η χρήση της ΛΕΑ δεν έχει πάντοτε θετικές επιπτώσεις.

Στα διαγράμματα 4.1 και 4.2 απεικονίζεται, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η μέση καθυστέρηση και η μέση ταχύτητα, αντίστοιχα, για διαφορετικές τιμές του ποσοστού δυνητικών παραβατών και για διαφορετικούς βαθμούς κορεσμού. Οι παραπάνω τιμές αφορούν στα σενάρια στα οποία η τιμή της παραμέτρου αλλαγής λωρίδας (imprudent lane-changing) είναι 0%, η οποία είναι και η προκαθορισμένη τιμή του προγράμματος. Τα

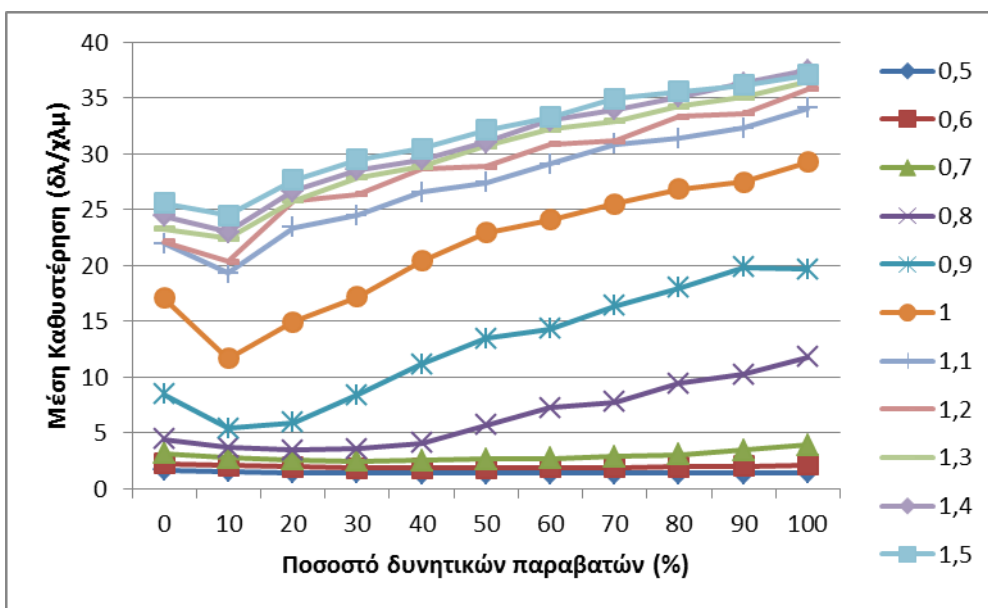
διαγράμματα 4.4 και 4.5, τα οποία παρατίθενται παρακάτω, αφορούν σε τιμή της παραμέτρου 50% και τα διαγράμματα 4.6 και 4.7 σε τιμή 100%.



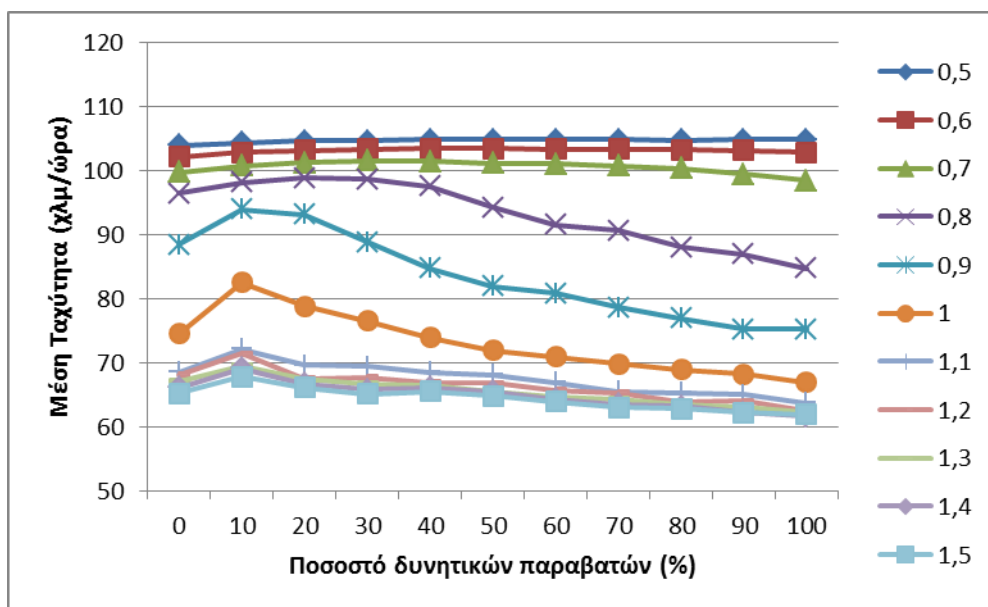
Διάγραμμα 4.4: Μέση καθυστέρηση οδικού δικτύου συναρτήσει του ποσοστού δυνητικών παραβατών για διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου (τιμή παραμέτρου αλλαγής λωρίδας 50%).



Διάγραμμα 4.5: Μέση ταχύτητα οδικού δικτύου συναρτήσει του ποσοστού δυνητικών παραβατών για διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου (τιμή παραμέτρου αλλαγής λωρίδας 50%).



Διάγραμμα 4.6: Μέση καθυστέρηση οδικού δικτύου συναρτήσει του ποσοστού δυνητικών παραβατών για διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου (τιμή παραμέτρου αλλαγής λωρίδας 100%).



Διάγραμμα 4.7: Μέση ταχύτητα οδικού δικτύου συναρτήσει του ποσοστού δυνητικών παραβατών για διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου (τιμή παραμέτρου αλλαγής λωρίδας 100%).

Από τα διαγράμματα 4.4 έως 4.7 είναι εμφανές ότι η μέση καθυστέρηση και η μέση ταχύτητα μεταβάλλονται με παρόμοιο τρόπο με αυτόν που παρατηρήθηκε στα διαγράμματα 4.1 και 4.2 αντίστοιχα και για τις άλλες δύο τιμές της παραμέτρου. Συνεπώς, η μεταβολή της παραμέτρου αλλαγής λωρίδας (imprudent lane-changing) δεν αλλάζει ιδιαίτερα το προφίλ των δύο αυτών μεγεθών.

Ωστόσο, μία διαφορά που παρατηρείται συγκρίνοντας τα διαγράμματα των δύο μεγεθών για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου αλλαγής λωρίδας είναι ότι, για συγκεκριμένους βαθμούς κορεσμού, η μεταβολή με την αύξηση του ποσοστού παραβατών είναι εντονότερη για τιμές της παραμέτρου 50% και 100%. Πιο συγκεκριμένα, για βαθμούς κορεσμού, 0,8, 0,9 και 1 η μέση καθυστέρηση και η ταχύτητα αρχίζουν να εμφανίζουν μείωση και αύξηση, αντίστοιχα, “νωρίτερα”, δηλαδή από μικρότερα ποσοστά παραβατών, και η μεταβολή τους όσο αυξάνεται το ποσοστό είναι μεγαλύτερη.

Γενικά παρατηρήθηκε ότι η μεταβολή της παραμέτρου αλλαγής λωρίδας επηρεάζει το δίκτυο με παρόμοιο τρόπο για διαφορετικά ποσοστά δυνητικών παραβατών και η επιρροή γίνεται κυρίως αισθητή σε επίπεδα φόρτισης που προκύπτουν από βαθμούς κορεσμού 0,8 έως 1.

Στον Πίνακα 4.1 που ακολουθεί, παρατίθενται ενδεικτικά τα αποτελέσματα της μέσης ταχύτητας του δικτύου και η μεταβολή της συναρτήσεως της παραμέτρου αλλαγής λωρίδας, για ποσοστό δυνητικών παραβατών 100% σε διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου.

Όπως φανερώνει ο παρακάτω πίνακας, η μεταβολή της συγκεκριμένης παραμέτρου έχει μεγαλύτερη επιρροή όταν ο βαθμός κορεσμού κυμαίνεται μεταξύ του 0,8 με 1. Η αύξηση της τιμής της παραμέτρου από 0% σε 50% προκαλεί, για τα συγκεκριμένα επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου, μια μείωση της ταχύτητας της τάξης του 3%. Αντίστοιχα, η αύξηση της παραμέτρου από 50% σε 100%, προκαλεί μεγαλύτερη μείωση της ταχύτητας, η οποία φτάνει περίπου το 10%, για βαθμό κορεσμού 0,8, και το 7,5% για βαθμούς κορεσμού 0,9 και 1.

Πίνακας 4.1: Μεταβολή μέσης ταχύτητας οδικού δικτύου συναρτήσει της παραμέτρου αλλαγής λωρίδας για διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου και ποσοστό δυνητικών παραβατών 100%.

$\frac{v}{c}$	Παράμετρος αλλαγής λωρίδας (Imprudent Lane-Changing)					
	0%	50%	Σύγκριση με 0%	100%	Σύγκριση με 50%	Σύγκριση με 0%
0,5	105,84	105,63	-0,2%	104,79	-0,8%	-1,0%
0,6	104,68	104,33	-0,3%	102,83	-1,4%	-1,8%
0,7	103,32	102,51	-0,8%	98,42	-4,0%	-4,7%
0,8	97,34	94,06	-3,4%	84,71	-9,9%	-13,0%
0,9	84,18	81,36	-3,3%	75,22	-7,6%	-10,6%
1,0	74,64	72,32	-3,1%	66,94	-7,4%	-10,3%
1,1	66,82	64,69	-3,2%	63,68	-1,6%	-4,7%
1,2	63,55	62,94	-1,0%	62,46	-0,8%	-1,7%
1,3	63,48	61,18	-3,6%	62,27	1,8%	-1,9%
1,4	62,27	61,63	-1,0%	61,57	-0,1%	-1,1%
1,5	62,15	60,91	-2,0%	61,89	1,6%	-0,4%

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζεται η μεταβολή της μέσης καθυστέρησης και της μέσης ταχύτητας του δικτύου συναρτήσει του βαθμού κορεσμού (Πίνακας 4.2 και Πίνακας 4.3) και συναρτήσει του ποσοστού δυνητικών παραβατών (Πίνακας 4.4 και Πίνακας 4.5). Οι συγκεκριμένοι πίνακες μεταβολής αφορούν στα αποτελέσματα των σεναρίων στα οποία η τιμή της παραμέτρου αλλαγής λωρίδας ήταν 0%.

Δεδομένου ότι, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η μεταβολή της τιμής της συγκεκριμένης παραμέτρου δεν αλλάζει το προφίλ των εξεταζόμενων μεγεθών, στη μετέπειτα ανάλυση των αποτελεσμάτων θα γίνεται αναφορά μόνο στα αποτελέσματα που



προέκυψαν για τιμή της παραμέτρου 0%, η οποία αποτελεί και την προκαθορισμένη τιμή του προγράμματος.

Πίνακας 4.2: Μεταβολή μέσης καθυστέρησης οδικού δικτύου συναρτήσει του βαθμού κορεσμού για διαφορετικά ποσοστά δυνητικών παραβατών.

		Βαθμός κορεσμού									
		0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1,0	1,0-1,1	1,1-1,2	1,2-1,3	1,3-1,4	1,4-1,5
Ποσοστό δυνητικών παραβατών (%)	0%	27,2%	35,6%	32,9%	34,0%	108,8%	70,0%	8,1%	6,9%	4,5%	8,0%
	10%	34,2%	29,4%	29,2%	32,0%	57,3%	134,6%	17,7%	12,8%	8,1%	6,9%
	20%	32,6%	27,6%	28,4%	34,0%	115,4%	150,5%	12,8%	5,3%	1,2%	4,3%
	30%	31,7%	28,2%	28,5%	54,2%	179,6%	81,8%	13,2%	2,6%	3,4%	7,1%
	40%	30,3%	27,3%	32,0%	102,5%	150,0%	69,1%	14,1%	1,7%	-1,2%	9,6%
	50%	31,6%	26,3%	39,4%	146,3%	127,4%	52,3%	10,0%	3,7%	8,4%	0,1%
	60%	30,8%	27,9%	59,9%	172,1%	94,9%	52,5%	11,8%	1,3%	6,5%	1,4%
	70%	28,7%	27,3%	61,0%	195,3%	97,2%	53,3%	8,3%	1,9%	3,1%	3,6%
	80%	29,6%	29,6%	92,6%	192,8%	87,3%	44,8%	4,6%	4,9%	2,2%	0,0%
	90%	31,1%	28,4%	117,0%	170,0%	82,0%	45,8%	7,0%	6,8%	1,3%	1,3%
100%	30,2%	33,1%	138,5%	176,7%	66,2%	39,7%	12,1%	1,8%	4,3%	-0,5%	

Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζεται η μεταβολή της μέσης καθυστέρησης με τη σταδιακή αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου για διαφορετικά ποσοστά δυνητικών παραβατών. Όταν κανένας οδηγός στο δίκτυο δεν κινείται στη ΛΕΑ, η καθυστέρηση εμφανίζει, όπως είναι αναμενόμενο, μια σχεδόν σταθερή αύξηση με την αύξηση του επιπέδου φόρτισης, μέχρι το βαθμό κορεσμού 0,9, μετά τον οποίο παρατηρείται μια απότομη αύξηση 108%. Μία επίσης μεγάλη αύξηση κατά 70% εντοπίζεται και με την αύξηση του βαθμού κορεσμού από 1 σε 1,1, μετά τον οποίο τείνει να σταθεροποιηθεί. Για ποσοστό παραβατών 10%, μία απότομη αύξηση παρατηρείται κατά την αύξηση του βαθμού κορεσμού από 1 σε 1,1, ενώ μετά από αυτό οι μεταβολές είναι μικρές.

Για μεγαλύτερα ποσοστά παραβατών παρατηρείται ότι όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό, η επιρροή στην καθυστέρηση είναι εντονότερη από μικρότερα ακόμη επίπεδα φόρτισης. Για παράδειγμα, για ποσοστό 20% η τιμή της καθυστέρησης διπλασιάζεται όταν ο βαθμός κορεσμού πηγαίνει από 0,9 σε 1 ενώ για ποσοστό 50% εντοπίζεται αύξηση 146,3% κατά την

αύξηση του βαθμού κορεσμού από 0,8 σε 0,9. Για ακόμη μεγαλύτερα ποσοστά, η επιρροή γίνεται εμφανής από ακόμη χαμηλότερα επίπεδα φόρτισης, όπως φαίνεται και για ποσοστό 100% για το οποίο η αύξηση του βαθμού κορεσμού από 0,7 σε 0,8 προκαλεί αύξηση της καθυστέρησης 138,5%.

Πίνακας 4.3: Μεταβολή μέσης ταχύτητας οδικού δικτύου συναρτήσει του βαθμού κορεσμού για διαφορετικά ποσοστά δυνητικών παραβατών.

		Βαθμός κορεσμού										
		0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1,0	1,0-1,1	1,1-1,2	1,2-1,3	1,3-1,4	1,4-1,5	0,5-1,5
Ποσοστό δυνητικών παραβατών (%)	0%	-1,1%	-1,9%	-2,2%	-2,9%	-9,8%	-12,0%	-2,3%	-2,0%	-1,2%	-2,2%	-32,5%
	10%	-1,4%	-1,4%	-1,8%	-2,5%	-5,1%	-13,9%	-4,1%	-2,9%	-2,6%	-1,7%	-32,3%
	20%	-1,3%	-1,3%	-1,7%	-2,4%	-8,5%	-17,2%	-3,5%	-1,3%	-0,8%	-1,4%	-34,2%
	30%	-1,3%	-1,3%	-1,6%	-3,5%	-12,6%	-12,9%	-3,3%	-0,9%	-1,4%	-1,5%	-34,4%
	40%	-1,2%	-1,2%	-1,7%	-5,8%	-13,1%	-11,6%	-3,7%	-0,8%	0,1%	-2,7%	-35,4%
	50%	-1,2%	-1,1%	-2,0%	-8,0%	-13,2%	-9,9%	-3,2%	-1,2%	-2,6%	0,4%	-35,6%
	60%	-1,1%	-1,2%	-2,8%	-10,1%	-11,9%	-10,7%	-4,0%	-0,4%	-1,6%	-0,4%	-37,0%
	70%	-1,1%	-1,2%	-2,8%	-11,2%	-12,6%	-11,7%	-2,2%	-1,2%	-0,9%	-0,9%	-38,2%
	80%	-1,1%	-1,2%	-4,0%	-12,6%	-12,7%	-11,4%	-1,8%	-1,5%	-0,7%	0,6%	-38,7%
	90%	-1,1%	-1,2%	-4,9%	-12,3%	-12,2%	-11,5%	-2,3%	-3,1%	0,2%	-0,8%	-40,4%
	100%	-1,1%	-1,3%	-5,8%	-13,5%	-11,3%	-10,5%	-4,9%	-0,1%	-1,9%	-0,2%	-41,3%

Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται τα ποσοστά μεταβολής της μέσης ταχύτητας με την αύξηση του επιπέδου φόρτισης του δικτύου και για τις 11 διαφορετικές περιπτώσεις ποσοστών δυνητικών παραβατών. Ο πίνακας αυτός είναι περισσότερο αντιπροσωπευτικός της κατάστασης του δικτύου καθώς η μέση ταχύτητα δίνει μια καλύτερη εικόνα των κυκλοφοριακών συνθηκών στη συγκεκριμένη περίπτωση.

Πιο συγκεκριμένα, ενώ ο πίνακας 4.2 δίνει μια εικόνα της επιρροής της αύξησης του κυκλοφοριακού φόρτου για κάθε περίπτωση ποσοστού παραβατών, δεν είναι εμφανές το τι σημαίνει αυτό για τις κυκλοφοριακές συνθήκες στο δίκτυο. Όπως παρατηρήθηκε, τα ποσοστά αύξησης της καθυστέρησης μπορεί να είναι σε ορισμένες περιπτώσεις αρκετά υψηλά (της τάξης του 30% ακόμη και για χαμηλά επίπεδα φόρτου), όμως οι τιμές της μέσης καθυστέρησης είναι σχετικά χαμηλές.

Σχετικά με την επιρροή της αύξησης της κυκλοφοριακής φόρτισης του δικτύου για δεδομένα ποσοστά παραβατών, ο πίνακας 4.3 δείχνει μεγαλύτερη μείωση της ταχύτητας κατά την αύξηση του βαθμού κορεσμού από 0,9 σε 1 και από 1 σε 1,1, και για μεγαλύτερα ποσοστά παραβατών, και από 0,8 σε 0,9. Επίσης, παρατηρείται ότι σε χαμηλές συνθήκες φόρτισης, η αύξηση του βαθμού κορεσμού επηρεάζει σε μικρό βαθμό τη μέση ταχύτητα, ανεξάρτητα από το ποσοστό των παραβατών, και το ίδιο συμβαίνει και για πολύ υψηλούς φόρτους.

Αντίθετα, κατά την αύξηση του βαθμού κορεσμού από 0,8 σε 0,9 και από 0,9 σε 1, η μείωση της μέσης ταχύτητας είναι εμφανώς μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερο είναι και το ποσοστό παραβατών. Για παράδειγμα, για ποσοστό παραβατών 10% η μείωση είναι 2,5% και 5,1% αντίστοιχα, ενώ για ποσοστό 100% εμφανίζεται μείωση 13,5% και 11,3% αντίστοιχα. Επίσης, η μείωση της ταχύτητας σε συνθήκες πολύ υψηλού κυκλοφοριακού φόρτου σε σχέση με τις συνθήκες ελεύθερης ροής είναι μεγαλύτερη για μεγαλύτερα ποσοστά παραβατών. Για παράδειγμα, όταν κανένας οδηγός δεν παρανομεί, η μείωση της ταχύτητας από την αύξηση του φόρτου είναι 32,5%, ενώ για ποσοστό 50% είναι 35,6% και για ποσοστό 100%, 41,3%.

Στον Πίνακα 4.4 συνοψίζονται τα ποσοστά μεταβολής της μέσης καθυστέρησης του δικτύου από την αύξηση του ποσοστού παραβατών για κάθε επίπεδο φόρτισης. Όπως είναι φανερό, η αύξηση του ποσοστού παραβατών προκαλεί μια οριακή μείωση της καθυστέρησης σε χαμηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους και αύξηση σε υψηλούς και πολύ υψηλούς. Επίσης παρατηρείται ότι για βαθμό κορεσμού 0,8, χαμηλά ποσοστά παραβατών προκαλούν μείωση της καθυστέρησης, η οποία μειώνεται με την αύξηση του ποσοστού, ενώ αύξηση του ποσοστού μετά το 40% προκαλεί αύξηση.

Για βαθμούς κορεσμού 0,9, 1 και 1,1, η αύξηση των παραβατών στο 10% προκαλεί μείωση της καθυστέρησης κατά 12,2%, 33,9% και 8,8% αντίστοιχα, ενώ η περαιτέρω αύξηση των παραβατών προκαλεί αύξηση της καθυστέρησης. Η συνολική διαφορά στην καθυστέρηση όταν όλοι οι οδηγοί είναι πρόθυμοι να χρησιμοποιήσουν τη ΛΕΑ για την κίνησή τους σε σχέση με την περίπτωση που κανείς οδηγός δεν εισέρχεται σε αυτή είναι εντονότερη για υψηλούς βαθμούς κορεσμού, καθώς η τιμή της διπλασιάζεται ή τριπλασιάζεται.

Πίνακας 4.4: Μεταβολή μέσης καθυστέρησης οδικού δικτύου συναρτήσει του ποσοστού παραβατών για διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου.

		Ποσοστό δυνητικών παραβατών (%)										
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	0-100
Βαθμός κορεσμού	0,5	-8,9%	-4,1%	-2,5%	-2,0%	-2,0%	-1,2%	1,2%	-1,6%	-1,1%	0,6%	-19,9%
	0,6	-3,9%	-5,2%	-3,1%	-3,1%	-1,1%	-1,7%	-0,4%	-0,9%	0,1%	-0,1%	-18,0%
	0,7	-8,4%	-6,5%	-2,7%	-3,7%	-1,8%	-0,5%	-0,9%	0,9%	-0,9%	3,6%	-19,5%
	0,8	-10,9%	-7,1%	-2,6%	-1,1%	3,7%	14,1%	-0,2%	20,7%	11,7%	13,8%	44,4%
	0,9	-12,2%	-5,7%	12,1%	29,8%	26,2%	26,0%	8,3%	19,7%	3,0%	16,7%	198,3%
	1	-33,9%	29,2%	45,5%	16,1%	14,7%	8,0%	9,6%	13,7%	0,1%	6,5%	137,4%
	1,1	-8,8%	37,9%	5,6%	8,0%	3,3%	8,2%	10,2%	7,3%	0,8%	2,0%	95,1%
	1,2	-0,7%	32,2%	6,0%	8,9%	-0,4%	9,9%	6,8%	3,6%	3,2%	6,9%	102,2%
	1,3	4,8%	23,4%	3,3%	7,8%	1,6%	7,4%	7,4%	6,6%	5,0%	1,9%	92,5%
	1,4	8,5%	15,5%	5,5%	3,0%	11,5%	5,5%	4,0%	5,7%	4,1%	5,0%	92,2%
	1,5	7,4%	12,7%	8,3%	5,4%	1,8%	6,9%	6,2%	2,1%	5,4%	3,2%	77,2%

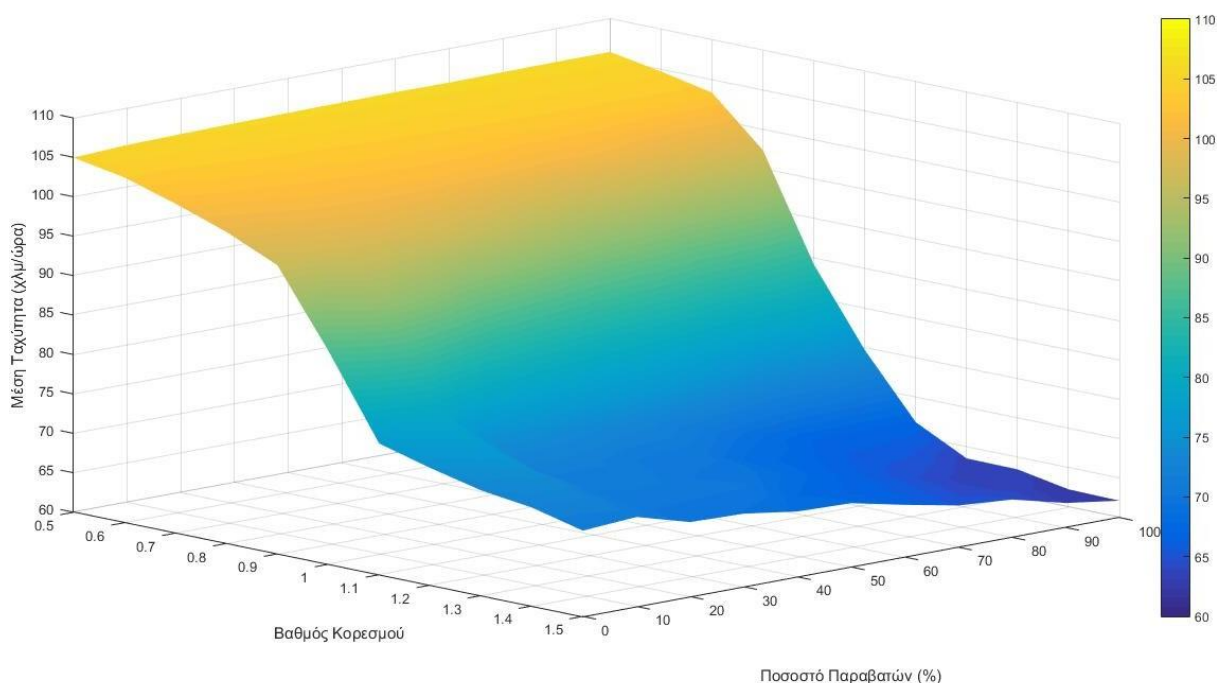
Πίνακας 4.5: Μεταβολή μέσης ταχύτητας οδικού δικτύου συναρτήσει του ποσοστού παραβατών για διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου.

		Ποσοστό δυνητικών παραβατών (%)										
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	0-100
Βαθμός κορεσμού	0,5	0,3%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,0%	0,8%
	0,6	0,1%	0,3%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,9%
	0,7	0,5%	0,4%	0,2%	0,2%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,1%	-0,1%	1,5%
	0,8	0,9%	0,6%	0,2%	0,1%	-0,2%	-0,8%	0,0%	-1,2%	-0,9%	-1,0%	-2,2%
	0,9	1,4%	0,6%	-0,9%	-2,3%	-2,5%	-3,1%	-1,2%	-2,6%	-0,6%	-2,4%	-12,9%
	1	6,8%	-3,0%	-5,3%	-2,8%	-2,7%	-1,5%	-2,0%	-2,7%	-0,1%	-1,4%	-14,3%
	1,1	4,5%	-6,8%	-0,3%	-1,3%	-0,9%	-2,4%	-3,2%	-2,5%	-0,1%	-0,4%	-12,8%
	1,2	2,6%	-6,3%	-0,1%	-1,7%	-0,3%	-3,2%	-1,3%	-2,1%	-0,6%	-3,0%	-15,1%
	1,3	1,6%	-4,7%	0,4%	-1,7%	-0,7%	-2,5%	-2,1%	-2,4%	-2,2%	0,0%	-13,5%
	1,4	0,1%	-2,9%	-0,2%	-0,2%	-3,4%	-1,4%	-1,5%	-2,2%	-1,3%	-2,1%	-14,1%
	1,5	0,7%	-2,7%	-0,3%	-1,4%	-0,3%	-2,2%	-2,0%	-0,8%	-2,6%	-1,5%	-12,3%

Παρακάτω (Διάγραμμα 4.8), παρουσιάζεται ένα τρισδιάστατο διάγραμμα στο οποίο απεικονίζεται η μέση ταχύτητα του οδικού δικτύου συναρτήσει του βαθμού κορεσμού και του ποσοστού παραβατών.

Το διάγραμμα αυτό δίνει μια εποπτική εικόνα του δικτύου σε διαφορετικές συνθήκες κυκλοφοριακού φόρτου και ποσοστού παραβατών. Όπως παρατηρείται, σε συνθήκες χαμηλής φόρτισης του δικτύου, η μέση ταχύτητα παραμένει σε πολύ υψηλά επίπεδα ανεξαρτήτως του ποσοστού των παραβατών. Αντίθετα, όσο αυξάνεται ο κυκλοφοριακός φόρτος, η ταχύτητα μειώνεται και η επιρροή του ποσοστού των παραβατών σε αυτή είναι μεγαλύτερη.

Πιο συγκεκριμένα, με την αύξηση του βαθμού κορεσμού, και κυρίως από 0,9 και έπειτα, η αύξηση του ποσοστού παραβατών προκαλεί εντονότερη μείωση της ταχύτητας. Επίσης, οι χαμηλότερες ταχύτητες εμφανίζονται στο δίκτυο όταν ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι πολύ υψηλός (για βαθμό κορεσμού από 1,3 και άνω) και το ποσοστό των παραβατών είναι επίσης πολύ υψηλό (70% με 100%).



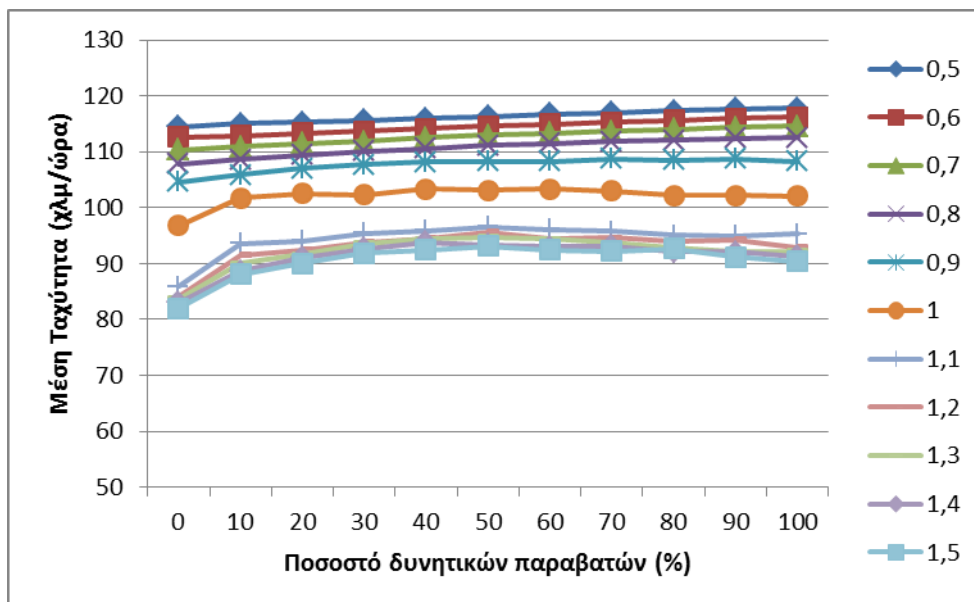
**Διάγραμμα 4.8:** Μέση ταχύτητα οδικού δικτύου συναρτήσει του βαθμού κορεσμού και του ποσοστού δυνητικών παραβατών.

## 4.2 Ανάλυση σε Επίπεδο Λωρίδας Κίνησης

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προσομοιώσεις των τελικών σεναρίων για κάθε λωρίδα κίνησης ξεχωριστά. Τα μεγέθη τα οποία εξετάστηκαν στη συγκεκριμένη περίπτωση ήταν η μέση ταχύτητα, η οποία προέκυψε για κάθε λωρίδα ως σταθμισμένος μέσος όρος των ταχυτήτων των οδικών τμημάτων από τα οποία αποτελείται (βλ. ενότητα 3.3.3) και ο κυκλοφοριακός φόρτος (flow).

Οι λωρίδες στο περιβάλλον του Aimsun κωδικοποιούνται, όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενη ενότητα, με έναν αριθμό από το 1, για την άκρα αριστερά λωρίδα, έως τον αριθμό των λωρίδων που υπάρχουν σε κάθε περίπτωση. Έτσι και σε αυτή την περίπτωση οι λωρίδες θα αναφέρονται με τον αριθμό που τους αντιστοιχεί και συγκεκριμένα η λωρίδα 1 αποτελεί την αριστερή λωρίδα και η λωρίδα 4 τη Λωρίδα Έκτακτης Ανάγκης (ΛΕΑ).

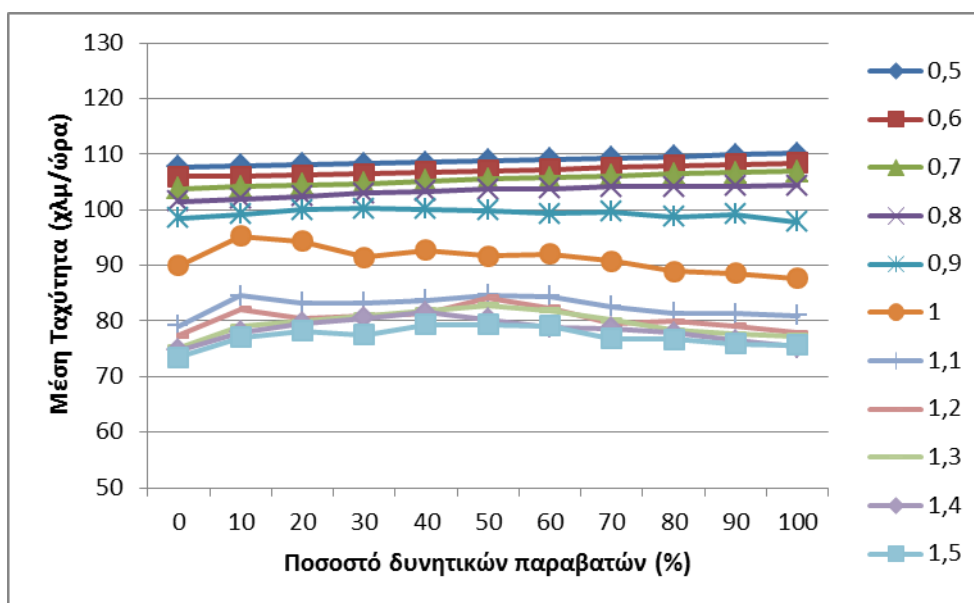
Στα διαγράμματα 4.9 έως 4.12, τα οποία ακολουθούν, απεικονίζεται η μέση ταχύτητα καθεμίας από τις 4 λωρίδες συναρτήσει του ποσοστού δυνητικών παραβατών για τα 11 επίπεδα φόρτισης που εξετάστηκαν στα τελικά σενάρια προσομοίωσης, δηλαδή για βαθμούς κορεσμού από 0,5 έως 1,5.



Διάγραμμα 4.9: Μέση ταχύτητα λωρίδας 1 (αριστερή λωρίδα) συναρτήσει του ποσοστού δυνητικών παραβατών για κάθε επίπεδο φόρτισης του δικτύου.

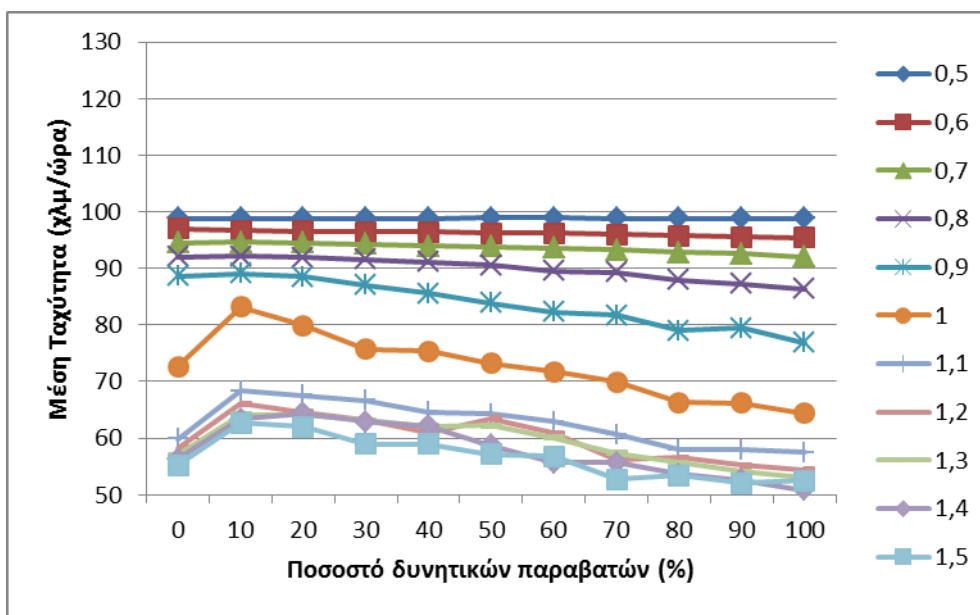
Για τη λωρίδα 1 παρατηρούνται πολύ υψηλές ταχύτητες σε χαμηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους καθώς σε συνθήκες ελεύθερης ροής τα οχήματα κινούνται με τη μέγιστη επιθυμητή τους ταχύτητα. Καθώς το επίπεδο φόρτισης αυξάνεται, εμφανίζονται, όπως είναι λογικό χαμηλότερες ταχύτητες στο δίκτυο.

Με την αύξηση του ποσοστού των παραβατών παρατηρείται οριακή αύξηση της ταχύτητας για τους βαθμούς κορεσμού 0,5 έως 0,8, ενώ για βαθμό 0,9 εμφανίζεται αρχικά μία οριακή αύξηση μέχρι το ποσοστό παραβατών 40% και στη συνέχεια μία σταθεροποίηση. Για βαθμούς κορεσμού από 1 έως 1,5 εμφανίζεται αύξηση της ταχύτητας για ποσοστά παραβατών μέχρι 50% και ακολουθεί μία μικρή μείωση.



Διάγραμμα 4.10: Μέση ταχύτητα λωρίδας 2 συναρτήσεσι του ποσοστού δυνητικών παραβατών για κάθε επίπεδο φόρτισης του δικτύου.

Για τη λωρίδα 2 παρατηρείται επίσης μία οριακή αύξηση της ταχύτητας για βαθμούς κορεσμού μέχρι 0,7, και για βαθμό κορεσμού 0,8 εμφανίζεται αρχικά οριακή αύξηση μέχρι ποσοστό παραβατών 40% και κατόπιν σταθεροποιείται. Παρόμοια και για βαθμό 0,9, η ταχύτητα αυξάνεται ελάχιστα μέχρι το ποσοστό του 20% για τους παραβάτες και κατόπιν μειώνεται για περαιτέρω αύξηση του ποσοστού. Για βαθμό κορεσμού 1, η ταχύτητα αυξάνεται τοπικά για ποσοστό 10% και κατόπιν μειώνεται. Σε υψηλότερους φόρτους, παρουσιάζεται γενικά μία μικρή αύξηση μέχρι ποσοστό 40% με 50% και ακολουθεί μείωση.



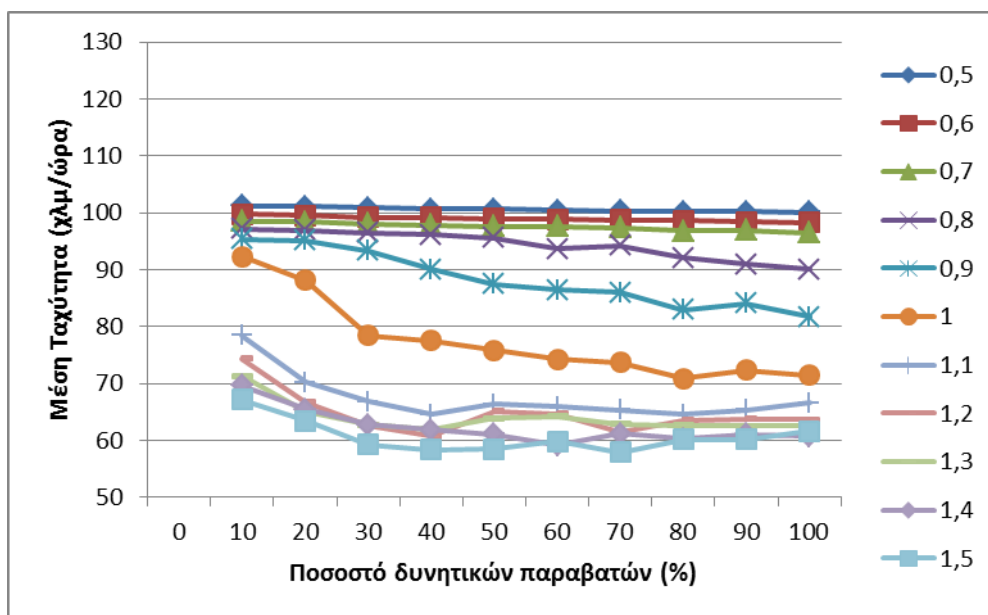
Διάγραμμα 4.11: Μέση ταχύτητα λωρίδας 3 συναρτήσει του ποσοστού δυνητικών παραβατών για κάθε επίπεδο φόρτισης του δικτύου.

Για τη λωρίδα 3 εμφανίζονται οι χαμηλότερες ταχύτητες κίνησης από όλες τις λωρίδες. Σε χαμηλούς φόρτους, η αύξηση του ποσοστού παραβατών προκαλεί οριακή μείωση της μέσης ταχύτητας στη λωρίδα. Για βαθμούς 0,8 και 0,9 η μείωσή της με την αύξηση του ποσοστού είναι εντονότερη. Για υψηλότερους φόρτους (βαθμοί κορεσμού 1 έως 1,5) παρατηρείται αύξηση της ταχύτητας για ποσοστό παραβατών 10% και κατόπιν μειώνεται με την περαιτέρω αύξηση του ποσοστού.

Η λωρίδα 4 αποτελεί τη λωρίδα Έκτακτης Ανάγκης και για το λόγο αυτό δεν υπάρχει τιμή για την ταχύτητα στη λωρίδα 4 για ποσοστό παραβατών 0%, καθώς οι οδηγοί χρησιμοποιούν μόνο τις άλλες τρεις λωρίδες για την κίνησή τους. Από το διάγραμμα 4.12 παρατηρείται επίσης ότι οι ταχύτητες που εμφανίζονται στη ΛΕΑ είναι υψηλότερες από της λωρίδας 3 αλλά χαμηλότερες από τις λωρίδες 1 και 2.

Για βαθμούς κορεσμού από 0,5 έως 0,7 παρατηρείται οριακή μείωση της ταχύτητας με την αύξηση του ποσοστού παραβατών. Μεγαλύτερη μείωση εμφανίζεται για βαθμούς 0,8, 0,9 και 1, η οποία είναι εντονότερη για μεγαλύτερο βαθμό κορεσμού. Για βαθμούς από 1,1 έως 1,5, η αύξηση του ποσοστού παραβατών μέχρι 40% με 50% προκαλεί γενικά μείωση της ταχύτητας στη λωρίδα ενώ η περαιτέρω αύξηση του ποσοστού προκαλεί μικρή αύξηση.





Διάγραμμα 4.12: Μέση ταχύτητα λωρίδας 4 (ΛΕΑ) συναρτήσει του ποσοστού δυνητικών παραβατών για κάθε επίπεδο φόρτισης του δικτύου.

Παρακάτω παρατίθενται ορισμένοι πίνακες μεταβολής στους οποίους συνοψίζονται τα ποσοστά μεταβολής της ταχύτητας για κάθε λωρίδα κίνησης συναρτήσει του βαθμού κορεσμού (Πίνακες 4.6, 4.8, 4.10 και 4.12) και συναρτήσει του ποσοστού παραβατών (Πίνακες 4.7, 4.9, 4.11 και 4.13).

Από τον Πίνακα 4.6 για τη λωρίδα 1 παρατηρείται ότι η ταχύτητα μειώνεται όσο αυξάνεται ο βαθμός κορεσμού. Επίσης παρατηρείται ότι σε συνθήκες χαμηλού και πολύ υψηλού φόρτου, η μείωση που υφίσταται είναι της ίδιας τάξης ανάμεσα στα διαφορετικά ποσοστά παραβατών ενώ για βαθμούς κορεσμού 0,8 με 1,1 η διαφοροποίηση μεταξύ των διαφορετικών ποσοστών είναι μεγαλύτερη.

Σχετικά με τη συνολική μείωση της ταχύτητας στη λωρίδα 1 όταν ο φόρτος είναι πολύ υψηλός σε σχέση με τις συνθήκες ελεύθερης ροής, παρατηρείται μεγαλύτερη μείωση σε ποσοστό παραβατών 0% (28,3%). Η μείωση μικραίνει για ποσοστά έως 50% κι έπειτα αύξάνεται, φτάνοντας το 23,3% για ποσοστό 100%.

Πίνακας 4.6: Μεταβολή μέσης ταχύτητας λωρίδας 1 (αριστερή λωρίδα) συναρτήσει του βαθμού κορεσμού για διαφορετικά ποσοστά δυνητικών παραβατών.

		Βαθμός κορεσμού										
		0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1,0	1,0-1,1	1,1-1,2	1,2-1,3	1,3-1,4	1,4-1,5	0,5-1,5
Ποσοστό δυνητικών παραβατών (%)	0%	-1,6%	-2,1%	-2,3%	-3,0%	-7,4%	-11,3%	-1,9%	-0,6%	-0,8%	-1,2%	<b>-28,3%</b>
	10%	-1,9%	-1,8%	-2,0%	-2,6%	-3,9%	-8,0%	-2,2%	-1,7%	-1,5%	-0,7%	<b>-23,5%</b>
	20%	-1,7%	-1,6%	-1,8%	-2,2%	-4,2%	-8,2%	-1,8%	-0,8%	-0,6%	-1,2%	<b>-21,9%</b>
	30%	-1,7%	-1,6%	-1,6%	-2,2%	-4,9%	-6,8%	-1,6%	-0,3%	-1,0%	-0,9%	<b>-20,6%</b>
	40%	-1,6%	-1,4%	-1,7%	-2,2%	-4,5%	-7,3%	-1,4%	-0,1%	-0,7%	-1,4%	<b>-20,3%</b>
	50%	-1,5%	-1,4%	-1,6%	-2,6%	-4,7%	-6,3%	-1,0%	-0,9%	-1,5%	-0,2%	<b>-19,9%</b>
	60%	-1,6%	-1,4%	-1,6%	-2,8%	-4,6%	-7,0%	-1,9%	0,0%	-1,4%	-0,6%	<b>-20,8%</b>
	70%	-1,5%	-1,4%	-1,6%	-2,8%	-5,3%	-7,0%	-1,2%	-1,0%	-0,5%	-1,0%	<b>-21,2%</b>
	80%	-1,5%	-1,4%	-1,7%	-3,3%	-5,7%	-7,1%	-1,1%	-1,2%	-0,8%	0,5%	<b>-21,1%</b>
	90%	-1,5%	-1,3%	-1,7%	-3,2%	-6,1%	-7,0%	-0,8%	-2,2%	-0,1%	-1,1%	<b>-22,6%</b>
	100%	-1,4%	-1,4%	-1,8%	-3,8%	-5,7%	-6,7%	-2,5%	-0,8%	-1,0%	-1,0%	<b>-23,3%</b>

Πίνακας 4.7: Μεταβολή μέσης ταχύτητας λωρίδας 1 (αριστερή λωρίδα) συναρτήσει του ποσοστού παραβατών για διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου.

		Ποσοστό δυνητικών παραβατών (%)										
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	0-100
Βαθμός κορεσμού	0,5	0,2%	0,4%	0,3%	0,4%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,1%	<b>3,0%</b>
	0,6	0,5%	0,6%	0,3%	0,6%	0,4%	0,3%	0,3%	0,4%	0,2%	0,2%	<b>3,1%</b>
	0,7	0,8%	0,7%	0,6%	0,5%	0,5%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,2%	<b>3,9%</b>
	0,8	1,2%	1,1%	0,6%	0,5%	0,0%	0,1%	0,4%	-0,2%	0,3%	0,1%	<b>4,4%</b>
	0,9	5,1%	0,7%	-0,1%	1,0%	-0,2%	0,2%	-0,4%	-0,7%	0,3%	-0,5%	<b>3,5%</b>
	1	9,0%	0,5%	1,4%	0,5%	0,8%	-0,5%	-0,4%	-0,8%	-0,1%	-0,1%	<b>5,4%</b>
	1,1	8,7%	0,9%	1,6%	0,7%	1,2%	-1,3%	0,3%	-0,7%	0,3%	0,3%	<b>11,0%</b>
	1,2	7,5%	1,8%	2,1%	1,0%	0,4%	-0,5%	-0,7%	-0,8%	-0,7%	-1,5%	<b>10,3%</b>
	1,3	6,8%	2,8%	1,7%	1,2%	-0,4%	-0,3%	0,1%	-1,1%	-0,7%	0,0%	<b>10,1%</b>
	1,4	7,4%	2,2%	2,0%	0,7%	0,8%	-0,8%	-0,3%	0,5%	0,0%	-0,9%	<b>9,9%</b>
	1,5	0,5%	0,2%	0,3%	0,3%	0,3%	0,4%	0,2%	0,3%	-1,6%	-0,8%	<b>10,1%</b>

Στον Πίνακα 4.7 παρατηρείται ότι η μεταβολή της ταχύτητας για τη λωρίδα 1 καθώς αυξάνεται το ποσοστό παραβατών αφορά κυρίως σε αύξηση και είναι γενικά μικρή, γεγονός που υποδεικνύει ότι επηρεάζεται λιγότερο από τις άλλες λωρίδες. Μεγαλύτερα ποσοστά αύξησης της ταχύτητας εμφανίζονται κατά την αύξηση του ποσοστού παραβατών από 0% σε 10% και αυτό συμβαίνει για βαθμούς κορεσμού μεγαλύτερους και ίσους του 0,9.

Για όλους τους βαθμούς κορεσμού, η σύγκριση μεταξύ της περίπτωσης που όλοι οι οδηγοί είναι δυνητικοί παραβάτες σε σχέση με την περίπτωση που κανείς οδηγός δε χρησιμοποιεί τη ΛΕΑ, υποδεικνύει αύξηση της ταχύτητας στη λωρίδα, η οποία φτάνει το 10% με 11% για βαθμούς από 1,1 έως 1,5.

Πίνακας 4.8: Μεταβολή μέσης ταχύτητας λωρίδας 2 συναρτήσει του βαθμού κορεσμού για διαφορετικά ποσοστά δυνητικών παραβατών.

		Βαθμός κορεσμού										
		0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1,0	1,0-1,1	1,1-1,2	1,2-1,3	1,3-1,4	1,4-1,5	0,5-1,5
Ποσοστό δυνητικών παραβατών (%)	0%	-1,6%	-2,1%	-2,2%	-2,9%	-8,6%	-12,0%	-2,3%	-2,8%	-0,6%	-1,6%	-31,7%
	10%	-1,8%	-1,8%	-2,1%	-2,7%	-3,9%	-11,2%	-3,0%	-3,8%	-1,3%	-1,1%	-28,6%
	20%	-1,8%	-1,6%	-1,9%	-2,4%	-5,6%	-11,8%	-3,4%	-0,6%	-0,4%	-1,8%	-27,7%
	30%	-1,7%	-1,6%	-1,7%	-2,6%	-8,7%	-9,0%	-2,7%	0,0%	-0,6%	-3,7%	-28,4%
	40%	-1,6%	-1,6%	-1,8%	-3,0%	-7,4%	-9,7%	-3,0%	0,8%	-0,4%	-2,8%	-26,9%
	50%	-1,6%	-1,4%	-1,8%	-3,7%	-8,1%	-7,7%	-0,6%	-1,6%	-3,1%	-1,0%	-27,0%
	60%	-1,6%	-1,4%	-1,8%	-4,3%	-7,3%	-8,3%	-2,5%	-0,5%	-3,7%	0,2%	-27,5%
	70%	-1,5%	-1,4%	-1,8%	-4,3%	-8,8%	-9,1%	-3,8%	0,9%	-1,9%	-2,4%	-29,7%
	80%	-1,6%	-1,4%	-2,1%	-5,2%	-10,0%	-8,4%	-1,9%	-2,0%	-0,7%	-1,5%	-30,1%
	90%	-1,6%	-1,3%	-2,3%	-4,8%	-10,7%	-8,2%	-2,8%	-1,9%	-1,5%	-0,7%	-30,9%
	100%	-1,6%	-1,4%	-2,4%	-6,3%	-10,5%	-7,6%	-3,9%	-0,7%	-2,6%	0,4%	-31,4%

Από τον Πίνακα 4.8 για τη λωρίδα 2 παρατηρείται ότι μεγαλύτερη μείωση της ταχύτητας προκαλείται κατά την αύξηση του επιπέδου φόρτισης μεταξύ των βαθμών κορεσμού 0,8 με 1,1 ενώ η περαιτέρω αύξηση του φόρτου επιφέρει μικρότερη μείωση της ταχύτητας. Επίσης, παρατηρείται ότι η αύξηση του βαθμού κορεσμού από 0,9 σε 1 προκαλεί μεγαλύτερη πτώση της ταχύτητας για μεγαλύτερα ποσοστά παραβατών (μείωση 3,9% για 10% παραβάτες και

10,5% για 100% παραβάτες) ενώ η αύξηση του βαθμού κορεσμού από 1 σε 1,1 το αντίθετο (μείωση 11,2% για 10% παραβάτες και 7,6% για 100% παραβάτες).

Η μεταβολή συναρτήσει του ποσοστού παραβατών κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα και για τη λωρίδα 2, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.9. Μεγαλύτερη μεταβολή και συγκεκριμένα αύξηση της ταχύτητας, προκαλεί η αύξηση του ποσοστού παραβατών από 0% σε 10%, γεγονός που παρατηρείται για βαθμούς κορεσμού μεγαλύτερους ή ίσους του 1. Σε συνθήκες χαμηλού και μέσου φόρτου παρατηρείται οριακή αύξηση με την αύξηση του ποσοστού παραβατών ενώ για υψηλότερα επίπεδα φόρτισης η αύξηση του ποσοστού προκαλεί μικρή μείωση.

Πίνακας 4.9: Μεταβολή μέσης ταχύτητας λωρίδας 2 συναρτήσει του ποσοστού παραβατών για διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου.

		Ποσοστό δυνητικών παραβατών (%)										
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	0-100
Βαθμός κορεσμού	0,5	0,2%	0,2%	0,1%	0,2%	0,3%	0,2%	0,2%	0,3%	0,3%	0,2%	2,3%
	0,6	0,0%	0,2%	0,3%	0,3%	0,2%	0,2%	0,3%	0,3%	0,2%	0,2%	2,3%
	0,7	0,3%	0,4%	0,2%	0,4%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,2%	3,0%
	0,8	0,4%	0,6%	0,5%	0,3%	0,3%	0,2%	0,3%	0,1%	0,1%	0,1%	2,9%
	0,9	0,7%	0,8%	0,2%	-0,1%	-0,3%	-0,5%	0,3%	-0,9%	0,5%	-1,4%	-0,7%
	1	5,8%	-1,0%	-3,0%	1,4%	-1,1%	0,3%	-1,3%	-2,1%	-0,4%	-1,1%	-2,7%
	1,1	6,8%	-1,6%	0,0%	0,7%	1,1%	-0,4%	-2,1%	-1,3%	-0,2%	-0,4%	2,3%
	1,2	6,1%	-2,0%	0,7%	0,4%	3,6%	-2,2%	-3,5%	0,7%	-1,1%	-1,5%	0,7%
	1,3	5,1%	1,2%	1,3%	1,2%	1,1%	-1,1%	-2,1%	-2,3%	-1,0%	-0,4%	2,8%
	1,4	4,4%	2,1%	1,0%	1,4%	-1,7%	-1,7%	-0,3%	-1,1%	-1,8%	-1,5%	0,8%
1,5	4,9%	1,5%	-0,9%	2,3%	0,1%	-0,4%	-2,9%	-0,2%	-1,0%	-0,4%	2,9%	

Από τους πίνακες 4.10 και 4.11 παρατηρείται ότι η λωρίδα 3, δηλαδή η δεξιά λωρίδα, επηρεάζεται περισσότερο από τις άλλες δύο λωρίδες από το φαινόμενο της χρήσης της ΛΕΑ. Για τη μέση ταχύτητα στη λωρίδα παρατηρείται ότι, σε όλες τις περιπτώσεις ποσοστού παραβατών, μεγαλύτερη μείωση προκαλεί η αύξηση του βαθμού κορεσμού από 0,9 σε 1 και από 1 σε 1,1 ενώ η περαιτέρω αύξηση του φόρτου προκαλεί μικρότερη μείωση.

Η αύξηση του φόρτου όσο το επίπεδο φόρτισης κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα, προκαλεί μικρή μείωση της ταχύτητας, η οποία αυξάνεται ελαφρώς για μεγαλύτερα ποσοστά παραβατών. Αντίθετα, η αύξηση του βαθμού κορεσμού από 0,7 έως 1 προκαλεί αισθητά μεγαλύτερη μείωση της ταχύτητας για μεγαλύτερα ποσοστά παραβατών. Για παράδειγμα, η αύξηση του βαθμού από 0,8 σε 0,9 επιφέρει μείωση 3,4% για ποσοστό παραβατών 10% ενώ για ποσοστό 100% η μείωση είναι 11%. Όμοια, η αύξηση από 0,9 σε 1 προκαλεί μείωση 6,5% και 16,2% για ποσοστά παραβατών 10% και 100% αντίστοιχα.

Επίσης παρατηρείται ότι η αύξηση του βαθμού κορεσμού από 1 σε 1,1 συγκεκριμένα επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό την ταχύτητα στη λωρίδα 3 όταν το ποσοστό των παραβατών είναι μικρό ενώ για μεγαλύτερα ποσοστά η μείωση που προκαλεί στην ταχύτητα είναι μικρότερη. Για ποσοστό παραβατών 10%, για παράδειγμα, η μείωση της ταχύτητας από την αύξηση του βαθμού κορεσμού ανέρχεται σε 17,8%, ενώ για ποσοστά 50% και 100% η μείωση είναι 12,2% και 10,8% αντίστοιχα.

Πίνακας 4.10: Μεταβολή μέσης ταχύτητας λωρίδας 3 συναρτήσει του βαθμού κορεσμού για διαφορετικά ποσοστά δυνητικών παραβατών.

		Βαθμός κορεσμού										
		0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1,0	1,0-1,1	1,1-1,2	1,2-1,3	1,3-1,4	1,4-1,5	0,5-1,5
Ποσοστό δυνητικών παραβατών (%)	0%	-1,8%	-2,6%	-2,7%	-3,6%	-18,1%	-17,6%	-2,7%	-2,1%	-1,2%	-2,1%	<b>-44,2%</b>
	10%	-2,2%	-2,1%	-2,6%	-3,4%	-6,5%	-17,8%	-3,3%	-3,0%	-1,2%	-1,1%	<b>-36,6%</b>
	20%	-2,3%	-2,2%	-2,7%	-3,8%	-9,7%	-15,4%	-4,4%	-0,7%	0,4%	-3,6%	<b>-37,2%</b>
	30%	-2,4%	-2,3%	-2,8%	-4,9%	-13,1%	-12,0%	-5,1%	0,0%	-0,4%	-6,3%	<b>-40,3%</b>
	40%	-2,4%	-2,5%	-3,1%	-6,1%	-11,9%	-14,3%	-5,8%	2,1%	-0,1%	-5,0%	<b>-40,3%</b>
	50%	-2,6%	-2,6%	-3,5%	-7,3%	-12,7%	-12,2%	-1,3%	-2,0%	-5,6%	-2,7%	<b>-42,3%</b>
	60%	-2,7%	-2,7%	-4,3%	-8,1%	-12,9%	-12,2%	-3,3%	-1,3%	-7,3%	2,1%	<b>-42,6%</b>
	70%	-2,9%	-2,8%	-4,3%	-8,5%	-14,4%	-13,3%	-7,4%	2,0%	-2,8%	-5,3%	<b>-46,6%</b>
	80%	-3,0%	-3,2%	-5,2%	-10,3%	-16,1%	-12,5%	-2,5%	-1,6%	-3,6%	-0,5%	<b>-46,0%</b>
	90%	-3,3%	-3,1%	-5,7%	-9,0%	-16,6%	-12,5%	-4,8%	-2,0%	-2,8%	-1,0%	<b>-47,3%</b>
100%	-3,4%	-3,5%	-6,1%	-11,0%	-16,2%	-10,8%	-5,3%	-2,8%	-4,0%	3,3%	<b>-46,9%</b>	

Σχετικά με την επιρροή της αύξησης του ποσοστού παραβατών (Πίνακας 4.11), παρατηρείται ότι σε χαμηλούς φόρτους η αύξηση του ποσοστού δεν επηρεάζει τη μέση ταχύτητα στη λωρίδα. Αντίθετα, η συνολική μείωση της ταχύτητας όταν όλοι οι οδηγοί χρησιμοποιούν τη

ΛΕΑ σε σχέση με την περίπτωση που περιορίζονται μόνο στις άλλες τρεις λωρίδες για την κίνησή τους, ανέρχεται σε 13,3% για βαθμό κορεσμού 0,9 και 11,3% για βαθμό κορεσμού ίσο με 1.

Ακόμη, από τον Πίνακα 4.11 παρατηρείται ότι η ύπαρξη ποσοστού παραβατών 10% αυξάνει σημαντικά την ταχύτητα στη λωρίδα 3 για υψηλούς και πολύ υψηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους. Πιο συγκεκριμένα, για βαθμό κορεσμού 1 η αύξηση ανέρχεται σε 14,6% και για βαθμό 1,5 σε 13,5%. Ωστόσο, η περαιτέρω αύξηση του ποσοστού προκαλεί μείωση της ταχύτητας.

Πίνακας 4.11: Μεταβολή μέσης ταχύτητας λωρίδας 3 συναρτήσει του ποσοστού παραβατών για διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου.

		Ποσοστό δυνητικών παραβατών (%)										
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	0-100
Βαθμός κορεσμού	0,5	0,1%	0,0%	0,0%	-0,1%	0,1%	0,0%	-0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
	0,6	-0,4%	0,0%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,3%	-0,1%	-0,3%	-0,2%	-1,7%
	0,7	0,1%	-0,1%	-0,3%	-0,3%	-0,2%	-0,2%	-0,3%	-0,5%	-0,2%	-0,6%	-2,6%
	0,8	0,2%	-0,2%	-0,3%	-0,6%	-0,7%	-1,1%	-0,3%	-1,4%	-0,8%	-1,0%	-6,1%
	0,9	0,4%	-0,6%	-1,6%	-1,8%	-2,0%	-1,8%	-0,7%	-3,4%	0,6%	-3,2%	-13,3%
	1	14,6%	-4,0%	-5,3%	-0,4%	-2,9%	-2,1%	-2,4%	-5,2%	-0,1%	-2,8%	-11,3%
	1,1	14,3%	-1,2%	-1,4%	-3,0%	-0,5%	-2,1%	-3,6%	-4,4%	0,0%	-0,8%	-3,9%
	1,2	13,5%	-2,3%	-2,2%	-3,7%	4,2%	-4,1%	-7,6%	0,6%	-2,4%	-1,4%	-6,6%
	1,3	12,5%	0,0%	-1,5%	-1,6%	0,1%	-3,5%	-4,5%	-2,9%	-2,8%	-2,2%	-7,2%
	1,4	12,4%	1,6%	-2,3%	-1,3%	-5,4%	-5,3%	0,2%	-3,7%	-2,0%	-3,5%	-9,9%
	1,5	13,5%	-0,9%	-5,0%	0,0%	-3,2%	-0,5%	-7,1%	1,2%	-2,5%	0,7%	-4,9%

Για τη λωρίδα 4 (ΛΕΑ) παρατηρείται, από τον Πίνακα 4.12, ότι η αύξηση του βαθμού κορεσμού όσο ο κυκλοφοριακός φόρτος κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα, επηρεάζει με τον ίδιο τρόπο την ταχύτητα ανεξάρτητα από το ποσοστό των παραβατών, προκαλώντας μια μείωση μικρότερη του 2%. Αντίθετα, η αύξηση του βαθμού κορεσμού κατά 0,1 μεταξύ των βαθμών 0,7 και 1 προκαλεί μεγαλύτερη μείωση της ταχύτητας για μεγαλύτερα ποσοστά παραβατών. Για παράδειγμα, η αύξηση του βαθμού κορεσμού από 0,8 σε 0,9 επιφέρει μείωση 1,8% όταν το ποσοστό των παραβατών είναι 10% ενώ για ποσοστό παραβατών 100% η μείωση είναι 9,4%.

Πίνακας 4.12: Μεταβολή μέσης ταχύτητας λωρίδας 4 (ΛΕΑ) συναρτήσει του βαθμού κορεσμού για διαφορετικά ποσοστά δυνητικών παραβατών.

		Βαθμός κορεσμού										
		0,5-0,6	0,6-0,7	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1,0	1,0-1,1	1,1-1,2	1,2-1,3	1,3-1,4	1,4-1,5	0,5-1,5
Ποσοστό δυνητικών παραβατών (%)	10%	-1,5%	-1,2%	-1,4%	-1,8%	-3,2%	-15,1%	-5,1%	-4,1%	-2,4%	-3,6%	<b>-33,6%</b>
	20%	-1,5%	-1,1%	-1,5%	-1,9%	-7,4%	-20,4%	-5,0%	-2,3%	0,5%	-3,1%	<b>-37,3%</b>
	30%	-1,6%	-1,2%	-1,6%	-3,3%	-16,0%	-14,8%	-6,2%	0,2%	-0,1%	-5,6%	<b>-41,3%</b>
	40%	-1,5%	-1,3%	-1,7%	-6,4%	-13,9%	-16,6%	-6,0%	2,1%	-0,3%	-5,6%	<b>-42,0%</b>
	50%	-1,6%	-1,4%	-2,1%	-8,4%	-13,3%	-12,6%	-1,9%	-1,8%	-4,5%	-4,2%	<b>-41,9%</b>
	60%	-1,6%	-1,3%	-4,0%	-7,7%	-14,1%	-11,3%	-1,8%	-0,8%	-7,9%	1,2%	<b>-40,4%</b>
	70%	-1,6%	-1,4%	-3,2%	-8,7%	-14,2%	-11,4%	-5,9%	2,3%	-2,7%	-5,3%	<b>-42,2%</b>
	80%	-1,6%	-1,8%	-4,9%	-10,0%	-14,5%	-8,9%	-1,6%	-1,3%	-3,8%	-0,3%	<b>-40,0%</b>
	90%	-1,8%	-1,4%	-6,2%	-7,5%	-14,0%	-9,6%	-2,4%	-1,9%	-2,4%	-1,4%	<b>-39,9%</b>
	100%	-1,8%	-1,8%	-6,6%	-9,4%	-12,5%	-6,8%	-4,4%	-1,6%	-3,0%	1,5%	<b>-38,4%</b>

Πίνακας 4.13: Μεταβολή μέσης ταχύτητας λωρίδας 4 (ΛΕΑ) συναρτήσει του ποσοστού παραβατών για διαφορετικά επίπεδα κυκλοφοριακού φόρτου.

		Ποσοστό δυνητικών παραβατών (%)									
		10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	0-100
Βαθμός κορεσμού	0,5	-0,1%	-0,2%	-0,2%	0,0%	-0,2%	-0,2%	0,0%	-0,1%	-0,1%	<b>-1,1%</b>
	0,6	-0,2%	-0,3%	-0,1%	-0,2%	-0,2%	-0,1%	-0,1%	-0,2%	-0,1%	<b>-1,4%</b>
	0,7	-0,1%	-0,4%	-0,2%	-0,2%	-0,1%	-0,2%	-0,5%	0,1%	-0,5%	<b>-2,1%</b>
	0,8	-0,3%	-0,4%	-0,3%	-0,7%	-1,9%	0,5%	-2,2%	-1,3%	-0,9%	<b>-7,3%</b>
	0,9	-0,3%	-1,9%	-3,5%	-2,8%	-1,2%	-0,5%	-3,6%	1,4%	-2,9%	<b>-14,4%</b>
	1	-4,6%	-11,0%	-1,1%	-2,1%	-2,1%	-0,7%	-3,9%	2,0%	-1,2%	<b>-22,6%</b>
	1,1	-10,5%	-4,8%	-3,3%	2,7%	-0,7%	-0,8%	-1,2%	1,2%	1,9%	<b>-15,1%</b>
	1,2	-10,4%	-6,0%	-3,1%	7,2%	-0,6%	-4,9%	3,3%	0,3%	-0,2%	<b>-14,5%</b>
	1,3	-8,7%	-3,6%	-1,2%	3,1%	0,5%	-2,0%	-0,3%	-0,3%	0,1%	<b>-12,3%</b>
	1,4	-6,1%	-4,1%	-1,5%	-1,3%	-3,1%	3,5%	-1,5%	1,2%	-0,5%	<b>-12,9%</b>
	1,5	-5,6%	-6,6%	-1,4%	0,2%	2,4%	-3,2%	3,8%	0,0%	2,4%	<b>-8,3%</b>

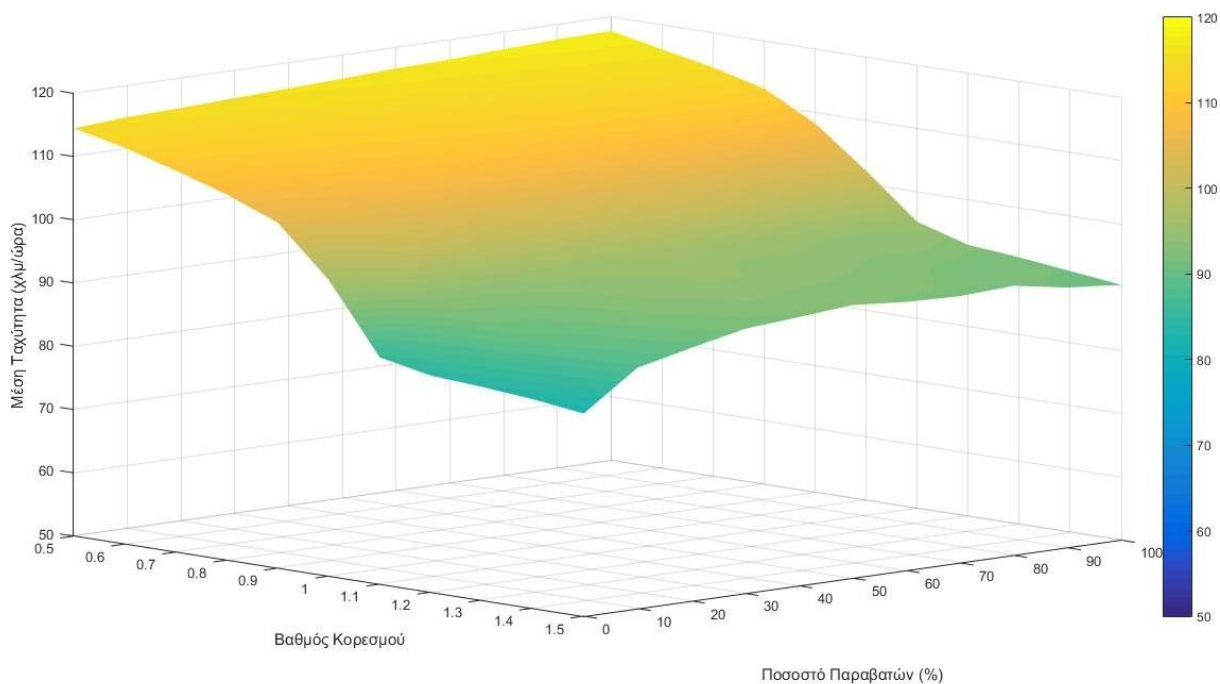
Σχετικά με το ποσοστό παραβατών (Πίνακας 4.13), παρατηρείται ότι η επιρροή είναι μεγαλύτερη σε περιπτώσεις υψηλού φόρτου. Συγκρίνοντας την τιμή της μέσης ταχύτητας στη λωρίδα όταν όλοι οι οδηγοί στο δίκτυο αντιμετωπίζουν τη ΛΕΑ ως κανονική λωρίδα κίνησης σε σχέση με αυτή που προκύπτει για ποσοστό παραβατών 10%, εντονότερη μείωση παρατηρείται για βαθμούς κορεσμού από 0,9 και πάνω. Ωστόσο, για βαθμούς κορεσμού μεγαλύτερους του 1, η συνολική μείωση είναι μικρότερη για υψηλότερα επίπεδα φόρτισης (22,6% για βαθμό κορεσμού 1 και 8,3% για βαθμό 1,5).

Παρακάτω παρατίθενται ορισμένα τρισδιάστατα διαγράμματα για την απεικόνιση της μέσης ταχύτητας σε κάθε λωρίδα συναρτήσει του βαθμού κορεσμού και του ποσοστού των παραβατών στο δίκτυο. Τα διαγράμματα 4.13 έως και 4.16 αφορούν στις λωρίδες 1 έως 4, αντίστοιχα. Από τη σύγκριση των τεσσάρων αυτών διαγραμμάτων δίνεται με έναν περισσότερο εποπτικό τρόπο η επιρροή που υφίσταται κάθε λωρίδα από το φαινόμενο της χρήσης της ΛΕΑ.

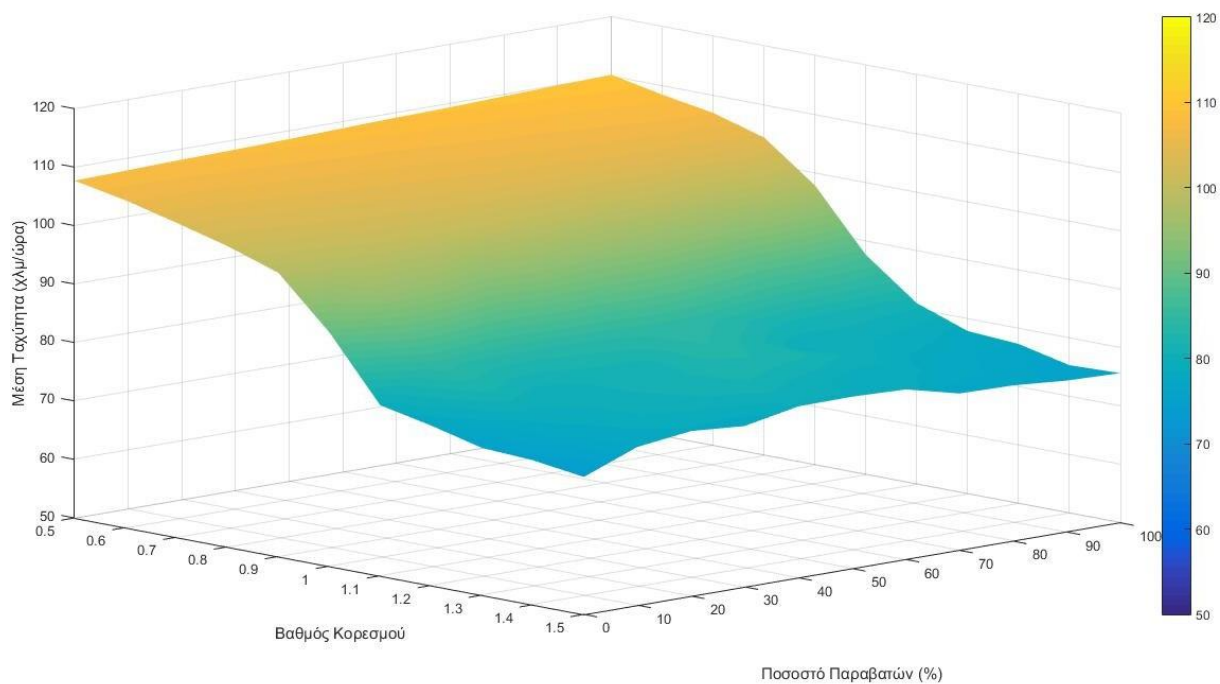
Παρατηρούμε ότι η λωρίδα 1 δέχεται τη μικρότερη επίδραση από όλες τις λωρίδες καθώς η ταχύτητα εμφανίζει τη μικρότερη συνολική μείωση, φτάνοντας μέχρι τα 85 με 90 χλμ/ώρα σε συνθήκες πολύ υψηλού φόρτου. Αντίθετα, τη μεγαλύτερη επίδραση δέχεται η λωρίδα 3 στην οποία η ταχύτητα μειώνεται από 100 χλμ/ώρα περίπου σε συνθήκες ελεύθερης ροής στα 50 χλμ/ώρα σε συνθήκες πολύ υψηλής φόρτισης και υψηλού ποσοστού παραβατών. Η ταχύτητα στη λωρίδα 4 (ΛΕΑ) μειώνεται επίσης σημαντικά με την αύξηση του βαθμού κορεσμού και του ποσοστού παραβατών, αλλά λιγότερο από τη λωρίδα 3, φτάνοντας στα 55 με 60 χλμ/ώρα.

Μία διαφορά που παρατηρείται επίσης είναι το γεγονός ότι για τις λωρίδες 1 και 2 η αύξηση του ποσοστού παραβατών προκαλεί οριακή αύξηση της μέσης ταχύτητας, σε αντίθεση με τις λωρίδες 3 και 4 στις οποίες προκαλείται κατά βάση μείωση.

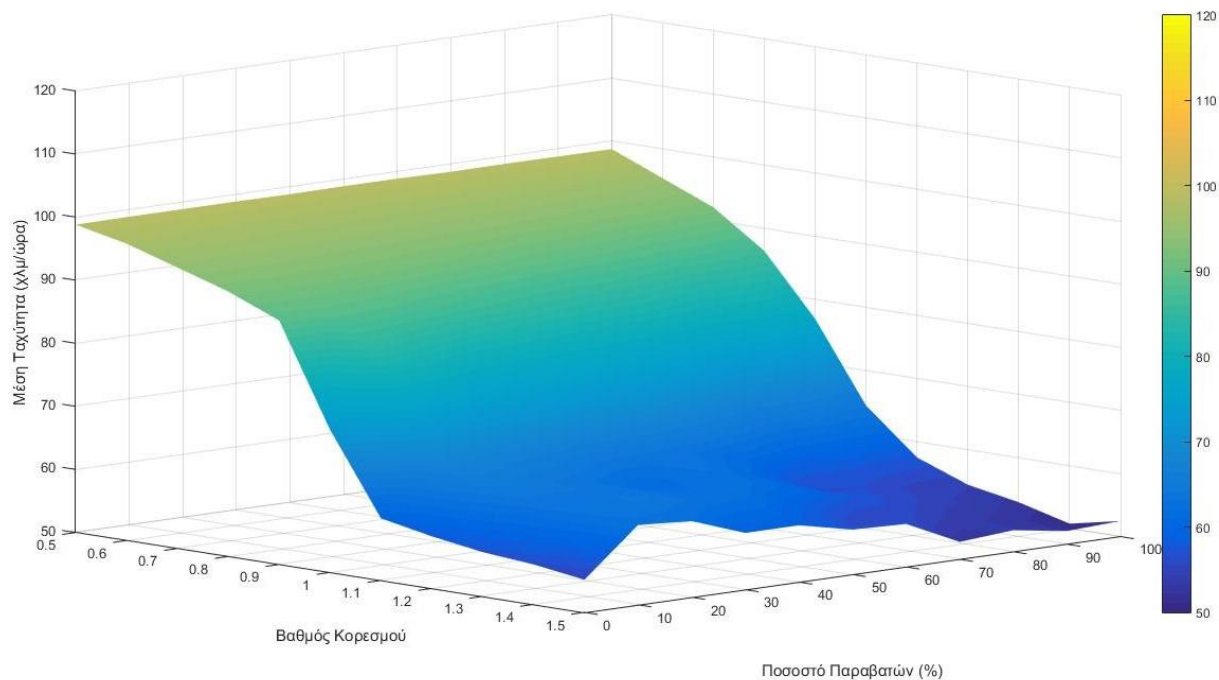




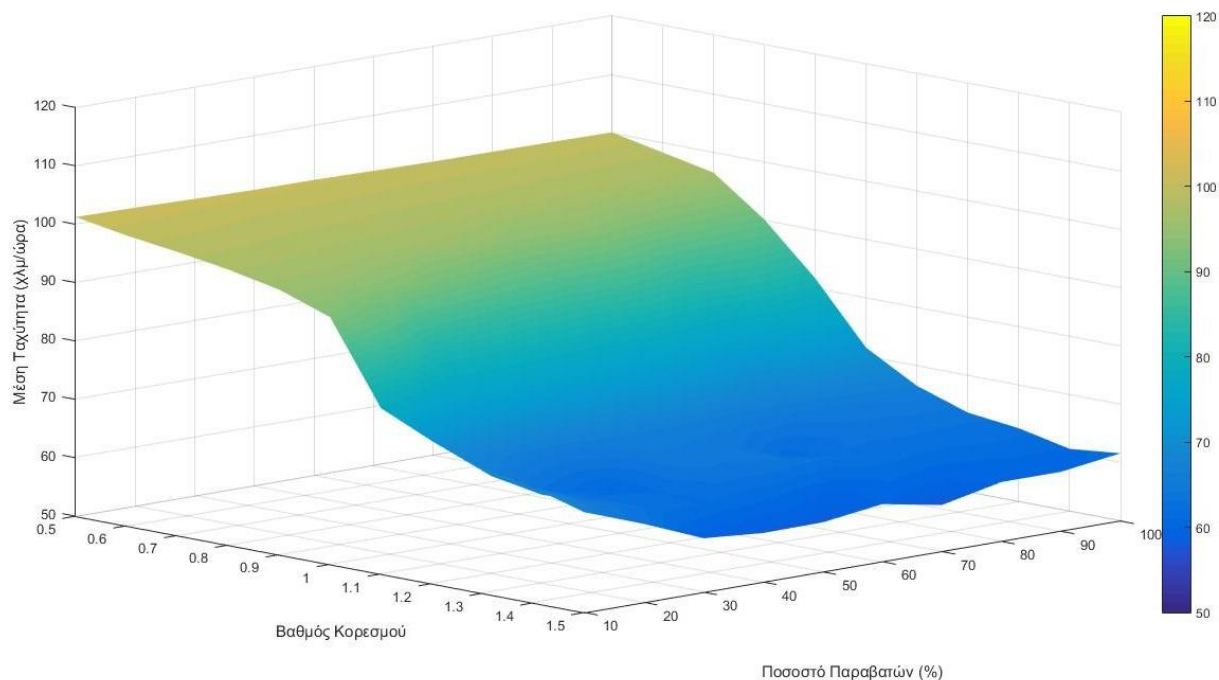
Διάγραμμα 4. 13: Μέση ταχύτητα στη λωρίδα 1 (αριστερή λωρίδα) συναρτήσει του βαθμού κορεσμού και του ποσοστού δυνητικών παραβατών.



Διάγραμμα 4. 14: Μέση ταχύτητα στη λωρίδα 2 συναρτήσει του βαθμού κορεσμού και του ποσοστού δυνητικών παραβατών.



Διάγραμμα 4.15: Μέση ταχύτητα στη λωρίδα 3 (δεξιά λωρίδα) συναρτήσει του βαθμού κορεσμού και του ποσοστού δυνητικών παραβατών.

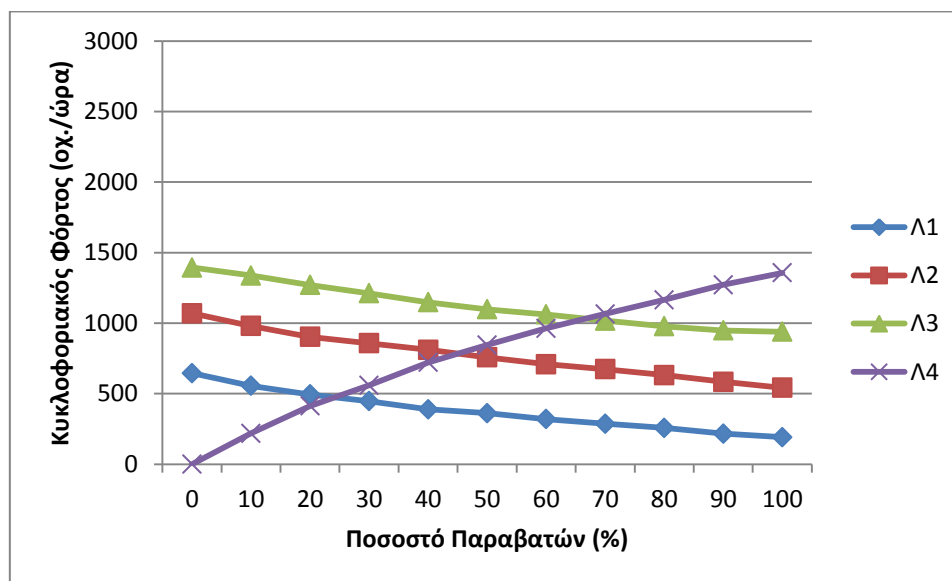


Διάγραμμα 4.16: Μέση ταχύτητα στη λωρίδα 4 (ΛΕΑ) συναρτήσει του βαθμού κορεσμού και του ποσοστού δυνητικών παραβατών.

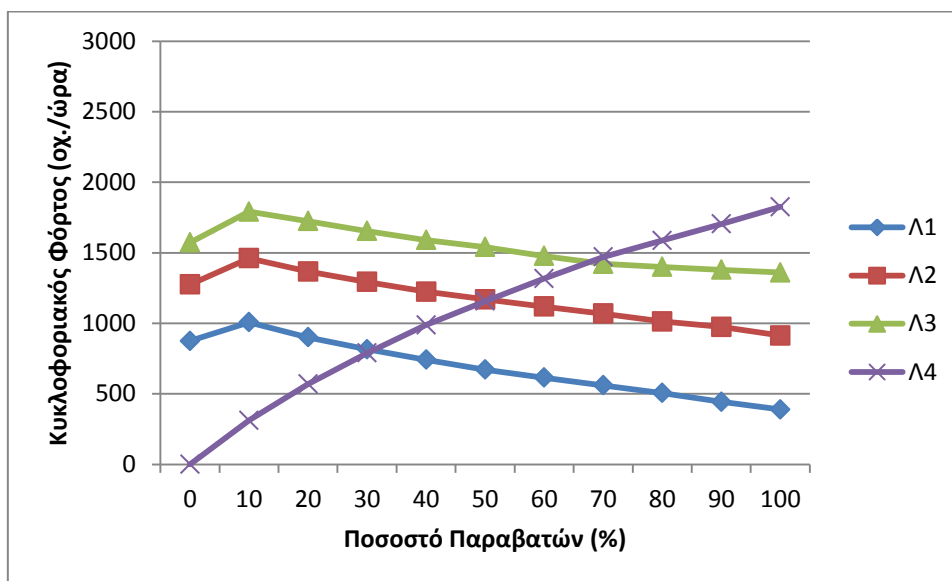
Ένα ακόμη μέγεθος που εξετάστηκε στα πλαίσια της ανάλυσης της λειτουργίας του δικτύου σε επίπεδο λωρίδας κίνησης, ήταν ο κυκλοφοριακός φόρτος κάθε λωρίδας, δηλαδή ο μέσος αριθμός των οχημάτων ανά ώρα (flow) που διέρχονται από αυτή. Δεδομένου ότι το συγκεκριμένο μέγεθος δε θα μπορούσε να υπολογιστεί για κάθε λωρίδα του δικτύου ως ο σταθμισμένος μέσος όρος των τμημάτων που την αποτελούν, όπως έγινε για τη μέση ταχύτητα (βλ. ενότητα 3.3.3), επελέγη ένα συγκεκριμένο οδικό τμήμα για τις λωρίδες του οποίου εξήχθησαν οι τιμές φόρτου αλλά και ταχύτητας, για την από κοινού ανάλυση.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ένα οδικό τμήμα του δικτύου μήκους 5,5 χλμ., το οποίο είναι το τελευταίο κατάντη οδικό τμήμα του δικτύου και διαθέτει συνεχή ΛΕΑ. Οι συνθήκες που παρατηρήθηκαν από τη γραφική απεικόνιση της κίνησης για το συγκεκριμένο τμήμα ήταν σε γενικές γραμμές καλές, σε αντίθεση με άλλα σημεία του δικτύου στα οποία παρατηρήθηκε συμφόρηση, καθώς το τμήμα αυτό δεν περιλαμβάνει περιοχές πλέξης, μερισμού ή συμβολής και επιπλέον δεν υπάρχει κατάντη τμήμα αυτού ώστε να επηρεάζεται η κυκλοφορία από τις κατάντη συνθήκες.

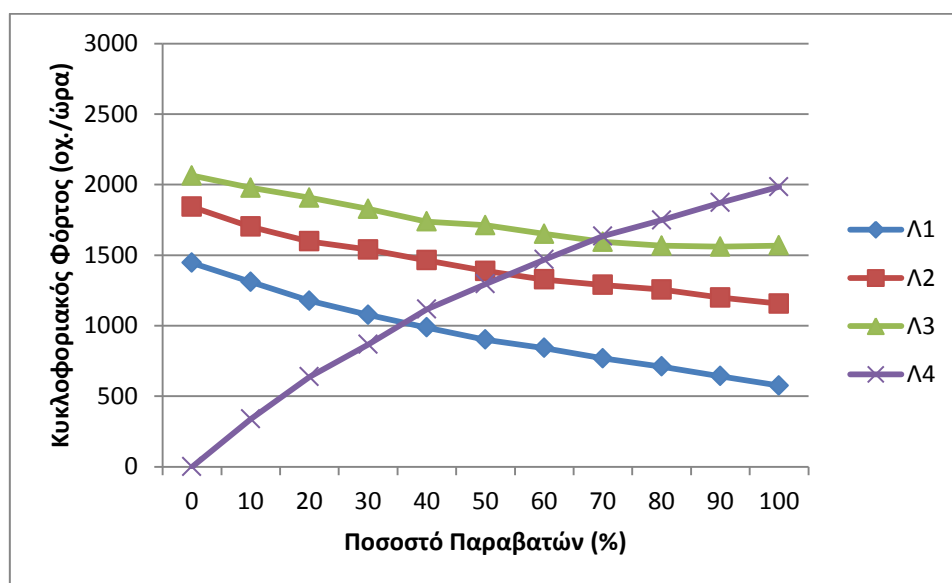
Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά ορισμένα από τα διαγράμματα φόρτου και ταχύτητας ανά λωρίδα για το συγκεκριμένο οδικό τμήμα σε διαφορετικά επίπεδα φόρτισης του δικτύου. Τα διαγράμματα που προέκυψαν για επίπεδα φόρτισης που προκύπτουν από βαθμούς κορεσμού από 1 και πάνω δεν παρουσίαζαν διαφορές και για το λόγο αυτό δεν παρουσιάζονται.



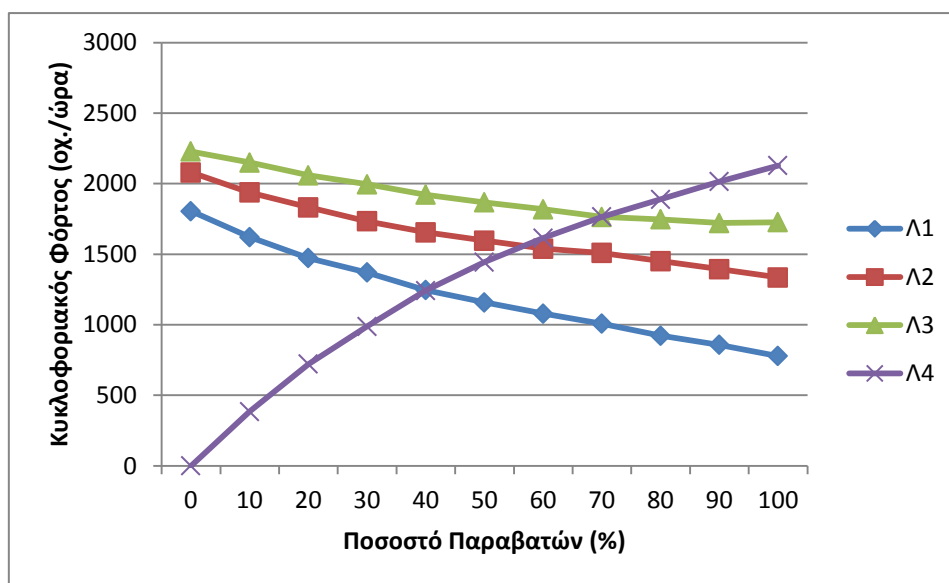
Διάγραμμα 4.17: Κυκλοφοριακός φόρτος ανά λωρίδα κίνησης συναρτήσει του ποσοστού παραβατών (βαθμός κορεσμού 0,5).



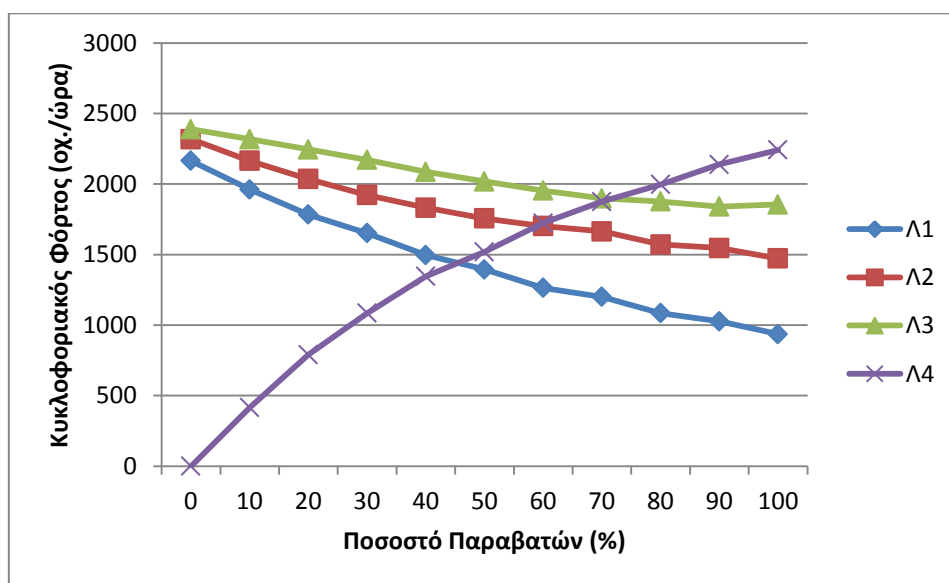
Διάγραμμα 4.18: Κυκλοφοριακός φόρτος ανά λωρίδα κίνησης συναρτήσει του ποσοστού παραβατών (βαθμός κορεσμού 0,6).



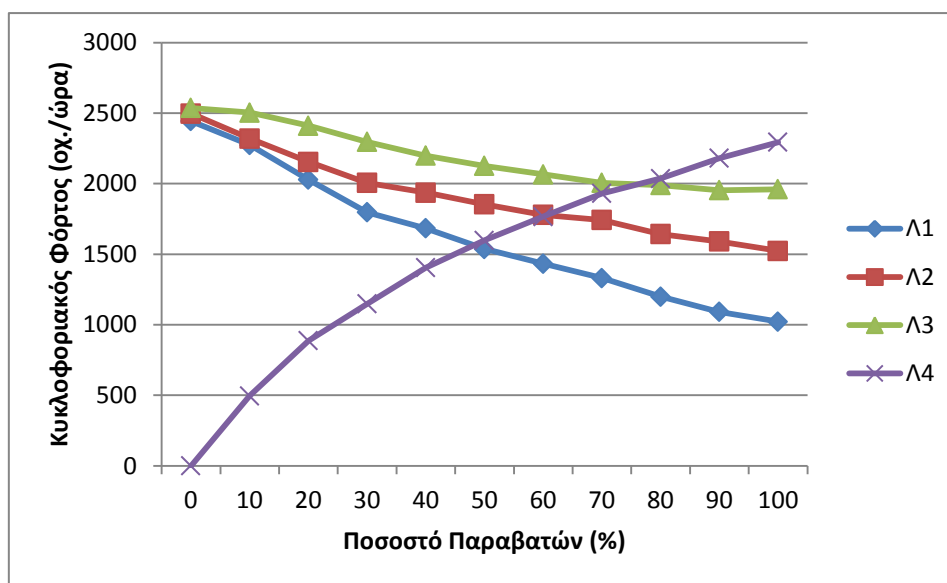
Διάγραμμα 4.19: Κυκλοφοριακός φόρτος ανά λωρίδα κίνησης συναρτήσει του ποσοστού παραβατών (βαθμός κορεσμού 0,7).



Διάγραμμα 4.20: Κυκλοφοριακός φόρτος ανά λωρίδα κίνησης συναρτήσει του ποσοστού παραβατών (βαθμός κορεσμού 0,8).



Διάγραμμα 4.21: Κυκλοφοριακός φόρτος ανά λωρίδα κίνησης συναρτήσει του ποσοστού παραβατών (βαθμός κορεσμού 0,9).

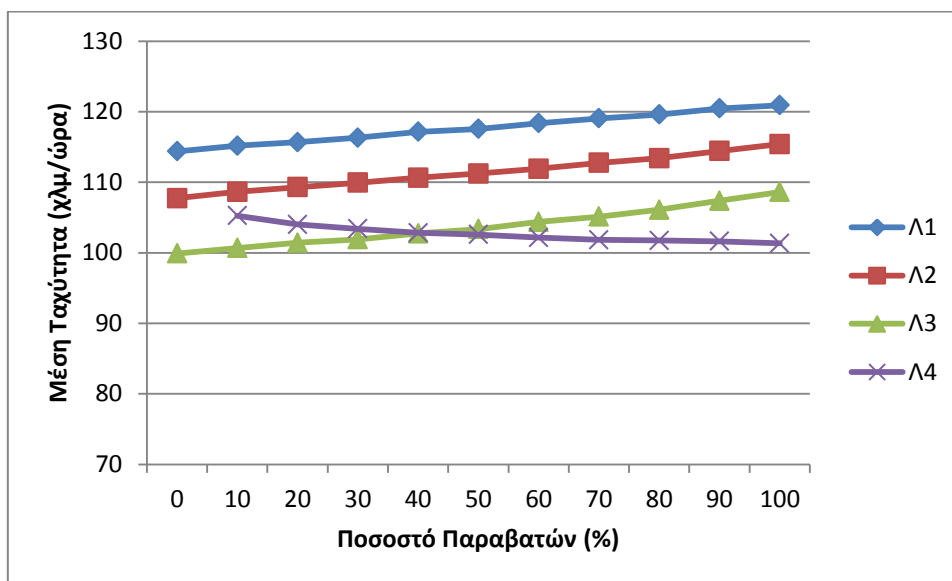


Διάγραμμα 4.22: Κυκλοφοριακός φόρτος ανά λωρίδα κίνησης συναρτήσει του ποσοστού παραβατών (βαθμός κορεσμού 1).

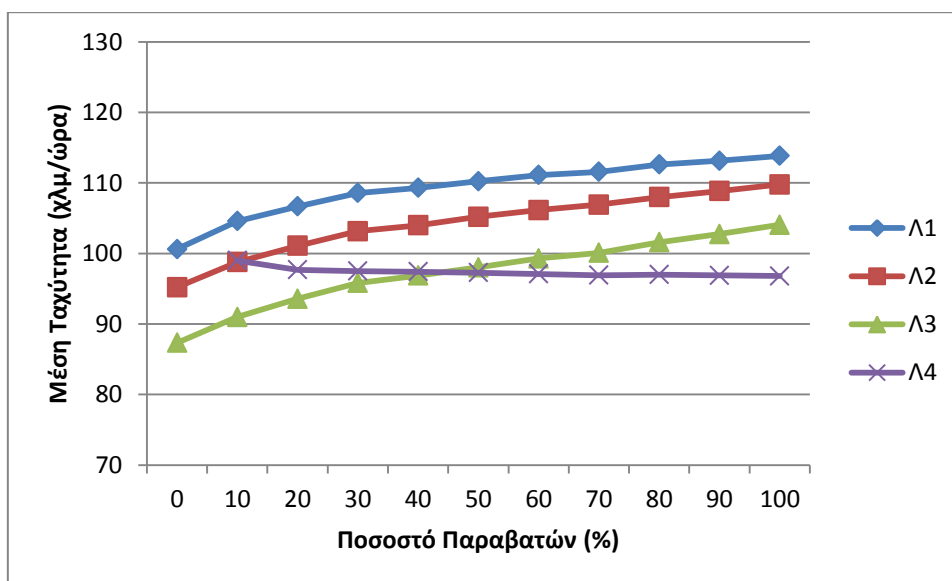
Αρχικά, στα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται αυτό που είχε αναφερθεί προηγουμένως σχετικά με την κατανομή των οχημάτων στις λωρίδες, δηλαδή το γεγονός ότι περισσότερα οχήματα επιλέγουν να κινούνται στη μεσαία και τη δεξιά λωρίδα (Λ2 και Λ3) απ'ότι στην αριστερή (Λ1). Αυτό συμβαίνει διότι τα οχήματα που προσομοιώνονται στο Aimsun αντιμετωπίζουν την αριστερή λωρίδα ως λωρίδα υψηλής ταχύτητας.

Επίσης, παρατηρείται ότι ακόμα και στο συγκεκριμένο οδικό τμήμα στο οποίο η ΛΕΑ είναι συνεχής και δεν προκαλούνται προβλήματα λόγω της ύπαρξης κλάδων εισόδου/εξόδου, ο κυκλοφοριακός φόρτος που διέρχεται από τις λωρίδες επηρεάζεται αρνητικά από το ποσοστό των παραβατών. Πιο συγκεκριμένα, ενώ ο αριθμός των οχημάτων που διέρχεται συνολικά από τις λωρίδες όταν κανένας οδηγός δε χρησιμοποιεί τη ΛΕΑ ανέρχεται σε 7500 οχήματα, ο συνολικός αριθμός των οχημάτων για ποσοστό παραβατών 100% μειώνεται σε περίπου 6800 οχήματα. Συνεπώς, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η χρήση της ΛΕΑ μειώνει την ικανότητα της οδού, γεγονός που πιθανόν οφείλεται στους ελιγμούς των οχημάτων κατά την είσοδο τους στη ΛΕΑ και κατά την έξοδό τους από αυτή.

Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά ορισμένα από τα διαγράμματα της μέσης ταχύτητας (Διαγράμματα 4.23 και 4.24) για επίπεδα φόρτισης του δικτύου που προκύπτουν από βαθμούς κορεσμού 0,5 και 1.



Διάγραμμα 4.23: Μέση ταχύτητα ανά λωρίδα κίνησης συναρτήσει του ποσοστού παραβατών (βαθμός κορεσμού 0,5).



Διάγραμμα 4.24: Μέση ταχύτητα ανά λωρίδα κίνησης συναρτήσει του ποσοστού παραβατών (βαθμός κορεσμού 1).

Από τα παραπάνω διαγράμματα, παρατηρείται αύξηση της μέσης ταχύτητας στις τρεις λωρίδες κίνησης του συγκεκριμένου οδικού τμήματος καθώς αυξάνεται το ποσοστό των χρηστών της ΛΕΑ. Αυτό συμβαίνει διότι καθώς εισέρχονται οχήματα στη ΛΕΑ, ο φόρτος των τριών κανονικών λωρίδων μειώνεται με αποτέλεσμα τη βελτίωση των συνθηκών σε αυτές. Αντίθετα, η μέση ταχύτητα στη ΛΕΑ (Λ4) παρουσιάζει μείωση καθώς αυξάνεται το ποσοστό των χρηστών της.

Επίσης, παρατηρώντας από κοινού τα διαγράμματα 4.22 και 4.24 διαπιστώνεται ότι ενώ ο κυκλοφοριακός φόρτος της ΛΕΑ είναι μικρότερος από των άλλων λωρίδων μέχρι το ποσοστό παραβατών 40%, η μέση ταχύτητα σε αυτή δεν είναι μεγαλύτερη από αυτή των λωρίδων Λ1 και Λ2. Ακόμη, για ποσοστά παραβατών από 50% έως 70%, παρατηρείται ότι ενώ ο κυκλοφοριακός φόρτος στη ΛΕΑ δεν είναι μεγαλύτερος των τριών άλλων λωρίδων, η μέση ταχύτητα σε αυτή είναι μικρότερη. Συνεπώς, η είσοδος στη ΛΕΑ από ποσοστό 50% και πάνω δε βελτιώνει την ταχύτητα των οχημάτων που τη χρησιμοποιούν.



## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο παρόν κεφάλαιο συγκεντρώνονται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την ανάλυση που προηγήθηκε σχετικά με το φαινόμενο της χρήσης της ΛΕΑ σε αυτοκινητόδρομο. Πιο συγκεκριμένα, αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο επιδρά η μεταβολή καθεμίας από τις παραμέτρους επιρροής που εξετάστηκαν στη λειτουργία του δικτύου στο σύνολό του και σε κάθε λωρίδα ξεχωριστά. Τέλος, παρατίθενται ορισμένες προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση.

### 5.1 Συμπεράσματα για το Συνολικό Δίκτυο

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων σε επίπεδο δικτύου, παρατηρήθηκε ότι η επίδραση που υφίσταται το δίκτυο από τη χρήση της ΛΕΑ διαφέρει ανάλογα με το επίπεδο του κυκλοφοριακού φόρτου και το ποσοστό των οχημάτων που τη χρησιμοποιεί. Ακόμη, ενώ η διάθεση μίας επιπλέον λωρίδας κίνησης θα αναμένονταν να επιδρά θετικά στις κυκλοφοριακές συνθήκες του δικτύου, προέκυψε πως η χρήση της ΛΕΑ στις δεδομένες συνθήκες δεν έχει πάντοτε θετικές επιδράσεις.

Όπως παρατηρήθηκε, σε χαμηλά επίπεδα φόρτισης, η χρήση της ΛΕΑ ως επιπλέον λωρίδας προκαλεί οριακή μείωση της μέσης καθυστέρησης και αύξηση της ταχύτητας με την αύξηση του ποσοστού των παραβατών. Αυτό συμβαίνει διότι σε συνθήκες ελεύθερης ροής τα οχήματα που προσομοιώνονται στο Aimsun χρησιμοποιούν τη ΛΕΑ κυρίως για προσπέραση προκειμένου να κινηθούν με την επιθυμητή τους ταχύτητα, κάτι που δεν υφίσταται στην πραγματικότητα.

Αντίθετα, για μεγαλύτερα επίπεδα φόρτισης του δικτύου, η επίδραση του φαινομένου είναι κατά βάση αρνητική. Πιο συγκεκριμένα, σε συνθήκες μέσου και υψηλού φόρτου, ενώ η ύπαρξη ενός ποσοστού της τάξης του 10% βελτιώνει τις κυκλοφοριακές συνθήκες στο δίκτυο, η περαιτέρω αύξηση του ποσοστού των χρηστών της ΛΕΑ προκαλεί μείωση της μέσης ταχύτητας και αύξηση της μέσης καθυστέρησης.

Ωστόσο, από τις δοκιμές που έγιναν σε δίκτυο στο οποίο η ΛΕΑ είναι συνεχής και δε διακόπτεται από την ύπαρξη κλάδων εισόδου και εξόδου, παρατηρήθηκε ότι η αύξηση του ποσοστού παραβατών προκαλεί αύξηση της μέσης ταχύτητας στο οδικό δίκτυο ακόμη και σε συνθήκες υψηλού κυκλοφοριακού φόρτου. Αυτό συμβαίνει διότι η ύπαρξη μίας επιπλέον λωρίδας αυξάνει την κυκλοφοριακή ικανότητα της οδού και τα οχήματα μοιράζονται πλέον σε τέσσερις λωρίδες αντί για τρεις, με αποτέλεσμα να επέρχεται αποσυμφόρηση.

Η διαφορά ανάμεσα στα αποτελέσματα που προέκυψαν για το δοκιμαστικό δίκτυο με συνεχή ΛΕΑ σε σχέση με το πραγματικό δίκτυο με κλάδους εισόδου και εξόδου, οφείλεται στο γεγονός ότι η διακοπή της ΛΕΑ σε ορισμένα τμήματα προκαλεί μεγάλο αριθμό ελιγμών μερισμού και συμβολής. Για παράδειγμα, στο σημείο που η ΛΕΑ διακόπτεται λόγω της ύπαρξης ενός κλάδου εξόδου, τα οχήματα που αναγκάζονται να μεταβούν στην παρακείμενη λωρίδα προκαλούν παρεμπόδιση της κυκλοφορίας των οχημάτων στη λωρίδα αυτή αλλά και στις άλλες.

Σχετικά με την παράμετρο αλλαγής λωρίδας (*imprudent lane-changing*), διαπιστώθηκε ότι η μεταβολή της τιμής της  $\delta$ εν αλλάζει ιδιαίτερα το προφίλ των μεγεθών της καθυστέρησης και της ταχύτητας. Γενικά παρατηρήθηκε ότι η μεταβολή της τιμής της επηρεάζει το δίκτυο με παρόμοιο τρόπο για διαφορετικά ποσοστά δυνητικών παραβατών και η επιρροή γίνεται κυρίως αισθητή σε επίπεδα φόρτισης που προκύπτουν από βαθμούς κορεσμού 0,8 έως 1.

Όσον αφορά στις άλλες δύο παραμέτρους επιρροής, τον κυκλοφοριακό φόρτο και το ποσοστό παραβατών, παρατηρήθηκε ότι σε συνθήκες χαμηλής φόρτισης του δικτύου, η μέση ταχύτητα παραμένει σε πολύ υψηλά επίπεδα ανεξαρτήτως του ποσοστού των παραβατών. Αντίθετα, όσο αυξάνεται ο κυκλοφοριακός φόρτος, η ταχύτητα μειώνεται και η επιρροή του ποσοστού των παραβατών σε αυτή είναι μεγαλύτερη.

Κυρίως από βαθμό κορεσμού 0,9 και έπειτα, η αύξηση του ποσοστού παραβατών προκαλεί εντονότερη μείωση της ταχύτητας. Η μείωση είναι της τάξης του 13% με 15% όταν όλοι οι οδηγοί δύνανται να χρησιμοποιούν τη ΛΕΑ σε σύγκριση με την περίπτωση που κανείς οδηγός δεν εισέρχεται σε αυτή.

## 5.2 Συμπεράσματα για τις Λωρίδες Κίνησης

### Συμπεράσματα για τις λωρίδες κίνησης του συνολικού οδικού δικτύου:

Από την ανάλυση που προηγήθηκε σε επίπεδο λωρίδας κίνησης εξετάστηκε ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζεται κάθε λωρίδα του δικτύου ξεχωριστά από το φαινόμενο της χρήσης της ΛΕΑ στο συγκεκριμένο τμήμα αυτοκινητοδρόμου. Το κυκλοφοριακό μέγεθος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η μέση ταχύτητα, η οποία υπολογίστηκε ως ο σταθμισμένος μέσος όρος των ταχυτήτων των οδικών τμημάτων που αποτελούν την κάθε λωρίδα.

Γενικά, μεγαλύτερες τιμές της μέσης ταχύτητας παρατηρήθηκαν στην αριστερή λωρίδα ενώ οι μικρότερες στη δεξιά λωρίδα. Στη ΛΕΑ παρατηρήθηκαν μεγαλύτερες ταχύτητες από τη δεξιά λωρίδα αλλά μικρότερες από την αριστερή και τη μεσαία. Αυτό συμβαίνει επειδή τα οχήματα που προσομοιώνονται στο Aimsun αντιμετωπίζουν την αριστερή λωρίδα ως λωρίδα υψηλής ταχύτητας και η πλειοψηφία των οχημάτων επιλέγει να κινείται κυρίως στη μεσαία και τη δεξιά λωρίδα. Επίσης, αυτές είναι και οι λωρίδες στις οποίες παρατηρείται μεγαλύτερη όχληση της κυκλοφορίας από την είσοδο και έξοδο οχημάτων από τη ΛΕΑ.

Όπως παρατηρήθηκε, η επίδραση που δέχεται η αριστερή λωρίδα από τη χρήση της ΛΕΑ, είναι σε γενικές γραμμές θετική. Πιο συγκεκριμένα, η αύξηση του ποσοστού των παραβατών προκαλεί οριακή αύξηση της μέσης ταχύτητας στη λωρίδα σε όλα τα επίπεδα φόρτισης που εξετάστηκαν. Συνεπώς με τη διάθεση της ΛΕΑ ως επιπλέον λωρίδας για την κυκλοφορία των οχημάτων, η μέση ταχύτητα στην αριστερή λωρίδα τείνει να βελτιώνεται καθώς αυξάνεται το ποσοστό των παραβατών.

Για τη μεσαία λωρίδα παρατηρήθηκε επίσης μία οριακή αύξηση της ταχύτητας για βαθμούς κορεσμού μέχρι 0,8, ενώ για υψηλότερα επίπεδα φόρτισης παρατηρήθηκαν ορισμένες διακυμάνσεις. Σε υψηλότερους φόρτους, παρουσιάζεται γενικά μία μικρή αύξηση για χαμηλά ποσοστά παραβατών και μείωση για ποσοστά μεγαλύτερα του 50%.

Για τη δεξιά λωρίδα, η αύξηση του ποσοστού παραβατών προκαλεί οριακή μείωση της μέσης ταχύτητας σε χαμηλούς φόρτους. Για βαθμούς κορεσμού 0,8 και 0,9 η μείωσή της με την αύξηση του ποσοστού είναι εντονότερη. Σε υψηλότερους κυκλοφοριακούς φόρτους (βαθμοί κορεσμού 1 έως 1,5) παρατηρήθηκε αύξηση της ταχύτητας για ποσοστά παραβατών 10% και κατόπιν μείωση με την περαιτέρω αύξηση του ποσοστού.

Όσον αφορά στη ΛΕΑ, σε χαμηλά επίπεδα φόρτισης (βαθμοί κορεσμού 0,5 έως 0,7) η μέση ταχύτητα παραμένει σταθερή και δεν επηρεάζεται από το ποσοστό των παραβατών. Όσο αυξάνεται το επίπεδο φόρτισης του δικτύου, η επιρροή του ποσοστού παραβατών στη μέση ταχύτητα είναι εντονότερη. Μεγαλύτερη είναι η επίδραση για βαθμό κορεσμού 1 καθώς η ταχύτητα μειώνεται από 90 χλμ/ώρα, όταν το ποσοστό των παραβατών είναι 10%, σε περίπου 70χλμ/ώρα, για ποσοστό παραβατών 100%.

#### Συμπεράσματα για τις λωρίδες κίνησης του τυπικού οδικού τμήματος:

Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 4.2, για την ανάλυση ενός ακόμη κυκλοφοριακού μεγέθους σε επίπεδο λωρίδας κίνησης, του κυκλοφοριακού φόρτου (flow), επελέγη ένα συγκεκριμένο οδικό τμήμα για τις λωρίδες του οποίου εξήχθησαν οι τιμές φόρτου αλλά και ταχύτητας, για την από κοινού ανάλυση και σύγκριση.

Το συγκεκριμένο οδικό τμήμα είχε μήκος 5,5 χλμ. και ήταν το τελευταίο κατάντη τμήμα του συνολικού οδικού δικτύου μελέτης. Διέθετε συνεχή ΛΕΑ, η οποία δεν διακόπτονταν από την ύπαρξη κλάδων εισόδου/εξόδου και οι κυκλοφοριακές συνθήκες σε αυτό ήταν σε γενικές γραμμές καλές.

Από την ανάλυση του κυκλοφοριακού φόρτου σε κάθε λωρίδα του οδικού τμήματος ξεχωριστά, προέκυψε ότι οι οδηγοί επιλέγουν για την κίνησή τους κυρίως τη δεξιά και τη μεσαία λωρίδα καθώς θεωρούν την αριστερή ως λωρίδα υψηλής ταχύτητας. Για το λόγο αυτό, ακόμη και σε περιπτώσεις πολύ υψηλής φόρτισης του δικτύου, οι συνθήκες κυκλοφορίας στην αριστερή λωρίδα είναι καλύτερες από ότι στη μεσαία και τη δεξιά.

Επίσης, παρατηρήθηκε ότι ακόμα και στο συγκεκριμένο οδικό τμήμα στο οποίο η ΛΕΑ είναι συνεχής και δεν προκαλούνται προβλήματα λόγω της ύπαρξης κλάδων εισόδου/εξόδου, ο συνολικός αριθμός οχημάτων που διέρχονται επηρεάζεται αρνητικά από το ποσοστό των παραβατών. Η μείωση του αριθμού από 7500 οχ/ώρα, όταν κανένας οδηγός δε χρησιμοποιεί τη ΛΕΑ, σε 6800 οχ/ώρα, για ποσοστό παραβατών 100%, φανερώνει ότι η χρήση της ΛΕΑ μειώνει την ικανότητα της οδού. Το γεγονός αυτό πιθανόν οφείλεται στους ελιγμούς των οχημάτων κατά την είσοδο τους στη ΛΕΑ και κατά την έξοδό τους από αυτή.

Σχετικά με τη μέση ταχύτητα, παρατηρήθηκε ότι καθώς αυξάνεται το ποσοστό των παραβατών, εμφανίζεται αύξηση στις τρεις κανονικές λωρίδες αλλά μείωση στη ΛΕΑ. Αντίθετα, από την ανάλυση του συνολικού δικτύου είχε προκύψει ότι η μέση ταχύτητα στις

λωρίδες 2 και 3 επηρεάζονταν αρνητικά από την αύξηση του ποσοστού παραβατών. Η διαφορά αυτή έγκειται στο γεγονός ότι στο συγκεκριμένο τμήμα η ΛΕΑ ήταν συνεχής και συνεπώς λειτουργούσε ως μία επιπλέον λωρίδα βελτιώνοντας τις συνθήκες στις άλλες λωρίδες, ενώ στο συνολικό δίκτυο η διακοπή της ΛΕΑ ανά τμήματα επιδρούσε αρνητικά.

Από τη σύγκριση των διαγραμμάτων φόρτου και ταχύτητας, προέκυψε επίσης ότι σε χαμηλά ποσοστά παραβατών η ταχύτητα στη ΛΕΑ είναι μεγαλύτερη από τη δεξιά λωρίδα αλλά μικρότερη από την αριστερή και τη μεσαία. Αντίθετα, για ποσοστά παραβατών από 50% έως 70%, παρατηρήθηκε ότι ενώ ο κυκλοφοριακός φόρτος στη ΛΕΑ δεν είναι μεγαλύτερος των τριών άλλων λωρίδων, η μέση ταχύτητα σε αυτή είναι η μικρότερη από όλες. Συνεπώς προκύπτει το συμπέρασμα ότι η είσοδος στη ΛΕΑ από ποσοστό 50% και πάνω δε βελτιώνει την ταχύτητα των οχημάτων που τη χρησιμοποιούν.

Συνοψίζοντας, από την ανάλυση που διεξήχθη στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, προέκυψε το γενικό συμπέρασμα ότι η επίδραση που δέχεται το δίκτυο από τη χρήση της ΛΕΑ διαφέρει ανάλογα με το επίπεδο φόρτισης και το ποσοστό των οχημάτων που τη χρησιμοποιούν. Η χρήση της ΛΕΑ από ένα μικρό ποσοστό οχημάτων βελτιώνει τις κυκλοφοριακές συνθήκες στο δίκτυο ενώ η περαιτέρω αύξηση των παραβατών επιδρά αρνητικά, γεγονός που οφείλεται στους ελιγμούς μερισμού και συμβολής που προκαλεί η κατά τόπους διακοπή της. Επίσης, ακόμη και στα τμήματα στα οποία η ΛΕΑ είναι συνεχής, η χρήση της μειώνει την ικανότητα της οδού, πιθανόν λόγω των ελιγμών κατά την είσοδο και έξοδο των οχημάτων από αυτή.

### **5.3 Προτάσεις για διερεύνηση**

Η επιρροή της χρήσης της Λωρίδας Έκτακτης Ανάγκης σε αυτοκινητοδρόμους αποτελεί ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον θέμα το οποίο θα μπορούσε να διερευνηθεί περαιτέρω λαμβάνοντας υπόψη συγκεκριμένες περιπτώσεις ελληνικών αυτοκινητοδρόμων. Με την προϋπόθεση της διαθεσιμότητας των απαιτούμενων δεδομένων, ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η χρήση πραγματικών δεδομένων κυκλοφοριακής ζήτησης και στοιχείων των παραβάσεων για την εκτέλεση μικροσκοπικής προσομοίωσης.

Ακόμη, θα μπορούσε να διερευνηθεί η προοπτική της δυναμικής χρήσης της Λωρίδας Έκτακτης Ανάγκης σε ελληνικούς αυτοκινητοδρόμους κατά τα πρότυπα του εξωτερικού. Πιο

συγκεκριμένα, θα μπορούσε να εξεταστεί το ενδεχόμενο της προσωρινής διάθεσης της ΛΕΑ στην κυκλοφορία για αποσυμφόρηση σε ορισμένα τμήματα κατά τις περιόδους αιχμής.

Τέλος, θα μπορούσε να γίνει χρήση και κάποιου άλλου λογισμικού προσομοίωσης προκειμένου να συγκριθούν τα αποτελέσματα με αυτά του Aimsun, ή ακόμη, να χρησιμοποιηθούν επιπλέον παράμετροι επιρροής.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

### Διεθνής Βιβλιογραφία:

Aron, M., Cohen, S. and Seidowsky, R. Two French Hard-Shoulder Running Operations: Some Comments on Effectiveness and Safety. *Proceedings of the 13th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems*, Madeira Island, Portugal, September 19-22, 2010.

Barceló, J. and Casas, J. (2005). Dynamic Network Simulation with AIMSUN. In: Kitamura R., Kuwahara, M. *Simulation Approaches in Transportation Analysis*. Operations Research/Computer Science Interfaces Series, 31. Springer, Boston, MA, pp. 57-98.

Chase, P. and Avineri, E. (2008). Maximizing Motorway Capacity through Hard Shoulder Running: UK Perspective. *The Open Transportation Journal*, 2 (1), pp. 7-18.

Ciuffo, B., Casas, J., Montarino, M., Perarnau, J. and Punzo, V. (2014). Theory to practice: Global sensitivity analysis of the Aimsun meso model. *Traffic Engineering and Control*, 55, pp. 9-17.

Cohen, S., Aron, M. and Seidowsky, R. A cost benefit assessment of a dynamic managed lanes operation. *Proceedings of the 12th World Conference on Transport Research*, 15p, Portugal, July 2010.

Geistefeldt, J. (2012). Operational Experience with Temporary Hard Shoulder Running in Germany. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2278 (1), pp. 67-73.

Gipps, P. G. (1981). A behavioural car-following model for computer simulation. *Transportation Research Part B: Methodological*, 15(2), pp.105-111.

Gipps, P. G. (1986). A model for the structure of lane-changing decisions. *Transportation Research Part B: Methodological*, 20(5), pp.403-414.

Guerrieri, M. and Mauro, R. (2016). Capacity and safety analysis of hard-shoulder running (HSR). A motorway case study. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 92, pp.162-183.

Ma, J., Hu, J., Hale, D. K. and Bared, J. Dynamic Hard Shoulder Running for Traffic Incident Management. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2554(1), pp. 120-128.

National Research Council, Transportation Research Board (2010). *Highway Capacity Manual 2010*. Washington, DC.

Princeton, J. and Cohen, S. (2011). Impact of a Dedicated Lane on the Capacity and the Level of Service of an Urban Motorway. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 16, pp. 196-206.

Saidallah, M., El Fergougui, A. and Elalaoui, A. E. A Comparative Study of Urban Road Traffic Simulators. *Proceedings of the 5th International Conference on Transportation and Traffic Engineering*, 6p, 2016.

TSS - Transport Simulation Systems (2011). *Aimsun 7 Dynamic Simulators User's Manual*.

TSS - Transport Simulation Systems (2011). *Aimsun 7 User's Manual*.

Waller, S. T., Ng, M., Ferguson, E., Nezamuddin, N. and Sun, D., 2009. *Speed harmonization and peak-period shoulder use to manage urban freeway congestion*. University of Texas at Austin. Center for Transportation Research.

#### Ελληνική Βιβλιογραφία:

Αντωνίου, Κ. και Σπυροπούλου, Ι. (2015). *Αρχές Κυκλοφοριακής Τεχνικής και Προσομοίωσης*. Αθήνα: Εκδόσεις Κάλλιπος

Μακρυπούλιας, Γ. (2017). Διερεύνηση λειτουργίας κόμβων προτεραιότητας με χρήση μικροσκοπικής προσομοίωσης. *Διπλωματική εργασία*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Ολυμπία Οδός Α.Ε. (2015). *Αξιολόγηση της ευαισθητοποίησης μέσω της χρήσης ενημερωτικού υλικού για τη Λωρίδα Έκτακτης Ανάγκης*.

Φρατζεσκάκης, Ι. Μ., Γκόλιας, Ι. Κ. και Πιτσιάβα-Λατινοπούλου, Μ. Χ. (2009). *Κυκλοφοριακή Τεχνική*. Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου